

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทมีการใช้สารตัวทำละลายในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตสี หมึก ขึ้นส่วนรถยนต์ ล้างถัง ทำให้พนักงานมีโอกาสสัมผัสกับไอระเหยจากสารตัวทำละลายหลายชนิด ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาในกลุ่มพนักงานที่สัมผัสสารตัวทำละลายผสมที่มีสารโทลูอิน สารไซลีนเป็นส่วนประกอบหลัก การทบทวนวรรณกรรมของโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารตัวทำละลายชนิดสารโทลูอิน สารไซลีน เช่น คุณสมบัติของสาร กลไกการเกิดพิษ การประเมินการสัมผัส และการประเมินผลกระทบจากการสัมผัสสารตัวทำละลาย โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. คุณสมบัติของสารโทลูอิน และสารไซลีน

ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ในสถานประกอบการต่างๆ ซึ่งหากมีการใช้ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพพนักงานขณะปฏิบัติงานได้ เนื่องจากสารตัวทำละลายเป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติละลายในไขมันได้ดี จึงอาจจะซึมเข้าสู่ผิวหนัง หรือทางการหายใจ ทำให้เกิดผลกระทบต่ออวัยวะต่างๆ ภายในร่างกายได้ ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาสารตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ สารโทลูอิน สารไซลีน ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

สารโทลูอิน (Toluene) หรือ เรียกว่า สารเมทิลเบนซีน (Methyl benzene) สูตร คือ $C_6H_5CH_3$ เป็นของเหลวใส มีกลิ่นหอมหวาน จุดติดไฟได้ง่ายที่อุณหภูมิสูงกว่า $40^\circ F$ ($4.4^\circ C$) มีอันตรายมากที่อุณหภูมิห้อง สารโทลูอินเป็นสารที่ละลายในสารอินทรีย์ได้ง่ายมาก แต่ละลายไม่ดีในน้ำ มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ลอยในน้ำ ควรเก็บไว้ในอาคาร หรือในที่ที่แยกออกจากสารออกซิไดซ์

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตสีมีการใช้สารโทลูอินในกระบวนการผลิตอย่างแพร่หลาย ในปัจจุบันนิยมผลิตสีผสมน้ำมากขึ้น (Water-based paint) อย่างไรก็ตามมีผลการศึกษาของ Burstyn I and Kromhout H (2002) พยายามพัฒนาแนวทางในการประเมินสารตัวทำละลาย เพื่อเฝ้าระวังสุขภาพในช่างทาสี ข้อมูลการตรวจวัดสารตัวทำละลายโดยวิธีการประเมินสารตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนแบบติดตัวบุคคลในประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าอัตราการใช้สารตัวทำละลายผสมในสีลดลง 12% ตั้งแต่ ค.ศ. 1980–1989 นอกจากนั้นพบว่าสีชนิด Water-based paint จะมีความสัมพันธ์กับการสัมผัสสารโทลูอินเพิ่มขึ้น

สารไซลีน (Xylene) หรือ ไดเมทิลเบนซีน (Dimethyl benzene) หรือ สารเมทิลสารโทลูอิน (Methyl toluene) ไซลอล (Xylol) และสารไซลีนผสม มีสูตร คือ $(C_6H_4CH_3)_2$ เป็นของเหลวไม่มีสี กลิ่นหอมหวาน ระเหยได้ จุดติดไฟได้ง่าย มีความเป็นพิษที่อุณหภูมิห้อง ไอระเหยหนักกว่าอากาศ กลิ่นของสารไซลีนเป็นสัญญาณอันตรายเตือนภัยได้ดี ไม่ละลายน้ำ เข้ากันได้ดีกับสารตัวทำละลายอินทรีย์

2. กลไกการเกิดพิษ

สารโทลูอิน เมื่อพนักงานรับสัมผัสสารโทลูอิน จะถูกดูดซึมเข้ากระแสเลือดและกระจายไปยังอวัยวะต่างๆ เช่น สมอง ตับ ไต เยื่อบุไขมัน เป็นต้น สารโทลูอินจะถูกย่อยสลายจากเอนไซม์ไมโครโซมอลเอนไซม์ (Microsomal mixed function oxidase) ที่ผลิตจากตับโดยการออกซิไดซ์ กลายเป็นกรดเบนโซอิก (Benzoic acid) และจับกับไกลซีน (Glycine) กลายเป็นรูปกรดฮิปปูริก (Hippuric acid) ประมาณ 10–20% จะจับกับกรดกลูคูโรนิก (Glucuronic acid) กลายเป็นเบนซอลกลูคูโรน (Benzol glucuronide) ซึ่งนิยมใช้ประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอิน

สารไซลีน เมื่อรับสัมผัสสารไซลีนเข้าสู่ร่างกายแล้ว จะถูกดูดซึมเข้ากระแสโลหิต สารชนิดนี้จะถูกย่อยสลายที่ตับโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของไมโครโซมอล (Microsomal oxidation) และทำปฏิกิริยากอนจูเกชันของไกลซีน กลายเป็นกรดเมทิลฮิปปูริก (Methylhippuric acid) ในปัสสาวะ จึงนิยมใช้กรดเมทิลฮิปปูริก เป็นดัชนีชี้วัดการรับสัมผัสสารไซลีน (Jang et al., 2001) อย่างไรก็ตามการรับประทานยาแอสไพรินเข้าไป จะทำให้ระดับกรดเมทิลฮิปปูริกจะลดลง เนื่องจากแอสไพรินจะถูกกำจัดโดยปฏิกิริยาไกลซีนคอนจูเกชัน (Glycine conjugation) นอกจากนั้นการดื่มสุรา สุบบุหรี่ (Huang et al., 1994) ทำให้การย่อยสลายสารไซลีนลดลง นำไปสู่การกำจัดกรดเมทิลฮิปปูริกในปัสสาวะลดลงได้

3. ผลกระทบต่อสุขภาพ

การรับสัมผัสสารตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดสารโทลูอินและสารไซลีน จะทำให้เกิดผลกระทบต่อร่างกายแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังได้

สารโทลูอิน การรับสัมผัสสารโทลูอินเข้าสู่ร่างกายจะมีผลกระทบต่อร่างกายแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

แบบเฉียบพลัน ผลกระทบแบบเฉียบพลันของสารโทลูอินต่อร่างกายมีหลายระบบ เช่น ระบบประสาท ทางเดินหายใจ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ระบบประสาท กลไกการเกิดพิษของสารโทลูอินต่อระบบต่างๆ รวมถึงระบบประสาทไม่ทราบชัดเจน อาจมาจากสารโทลูอินละลายในไขมันของเซลล์เมมเบรนได้ดี ทำให้รบกวนการทำงานของโปรตีนของเส้นประสาท มีการทดสอบความบกพร่องของระบบประสาทและพฤติกรรมในอาสาสมัครที่รับสัมผัสสารโทลูอินแบบเฉียบพลัน ที่ความเข้มข้น มากกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน (Andersen et al., 1983; Echeverria et al., 1991; Rahill et al., 1996) และศึกษาในสัตว์ทดลองในห้องปฏิบัติการที่รับสัมผัสสารโทลูอินซ้ำๆ ความเข้มข้น มากกว่า 500 ส่วนในล้านส่วน (Miyagawa et al., 1995)

ส่วน Cruz et al. (2011) ระบุว่าผลกระทบจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลายที่ไม่เหมาะสมจะมีผลกระทบต่อเซลล์และพฤติกรรมได้ โดยมีการศึกษาในสัตว์ทดลองพบว่าการรับสัมผัสสารตัวทำละลายแบบเฉียบพลันจะทำให้เกิดความผิดปกติของระบบประสาทมอเตอร์ จนมีผลทำให้เกิดความผิดปกติต่างๆ เช่น วิดกกังวล นอกจากนั้นพบว่าการใช้สารตัวทำละลายไม่เหมาะสมในมนุษย์ จะก่อให้เกิดผลกระทบแบบเฉียบพลันคล้ายกับพิษของสารเอทานอล เช่น ประสาทหลอน และเสียชีวิต หากรับสัมผัสความเข้มข้นสูงๆ

มีการศึกษาในห้องทดลองในอาสาสมัครที่รับสัมผัสสารโทลูอินแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 50 ส่วนในล้านส่วนและมากกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน อย่างไรก็ตามพบอาการผิดปกติจากการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 ส่วนในล้านส่วน ส่วนการรับสัมผัสสารโทลูอิน ที่ความเข้มข้น 40 ส่วนในล้านส่วน นาน 6 ชั่วโมง ผลจากการทดสอบด้วยเครื่อง Psychometric performance พบว่าไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มเปรียบเทียบจากการประเมินแบบ Subjective evaluations (Andersen et al., 1983) ในทางตรงกันข้ามการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นสูงถึง 100 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้มีอาการอ่อนแรง (Fatigue) ง่วงนอน (Sleepiness) ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ ความคล่องตัวลดลง การมองเห็นลดลง การรับรู้ในการมองเห็นลดลง (Andersen et al., 1983)

การรับสัมผัสแบบเฉียบพลันทางการหายใจต่อระบบประสาทที่ความเข้มข้น 75-150 ส่วนในล้านส่วน ในอาสาสมัครที่ความเข้มข้น 0, 75, หรือ 150 ส่วนในล้านส่วนนาน 7 ชั่วโมง เป็นสาเหตุทำให้เกิดความบกพร่องทำให้สูญเสียรูปแบบการตระหนักรู้ ความทรงจำ (Echeverria et al., 1991) เคยมีการทดสอบก่อนและหลังการรับสัมผัสสารโทลูอิน พบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มสัมผัสและกลุ่มเปรียบเทียบในแง่ต่างๆ เช่น ระดับอารมณ์ (Profile on mood scale) การจดจำภาพ (Visual memory) การประสานกันระหว่างมือและตา (Hand-eye coordination) การจดจำคำพูดในช่วงสั้นๆ (Verbal short-term memory) โดยการใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อประเมิน เช่น Sternberg test, Finger tapping, Reaction time, Continuous performance test และ Critical tracking test และมีการทดสอบในอาสาสมัคร 6 คนที่รับสัมผัสสารโทลูอิน 100 ส่วนในล้านส่วนนาน 6 ชั่วโมง ตามด้วยการออกกำลังกาย ทดสอบด้วยเครื่องมือ Neuropsychological tests พบว่ามีค่าต่ำกว่าในกลุ่มควบคุมที่รับสัมผัสกับอากาศที่บริสุทธิ์ (Rahill et al., 1996)

นอกจากนั้นมีการศึกษาการรับสัมผัสในช่างทาสี จำนวน 26 คนที่ควบคุมสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 5 หรือ 80 ส่วนในล้านส่วนนาน 4 ชั่วโมง พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ จากการทดสอบพฤติกรรมการแสดงออก ความทรงจำ (Iregren, 1986) ส่วนการศึกษาในพนักงานในโรงพิมพ์ที่รับสัมผัสสารโทลูอินต่ำกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน สามารถกลับเข้ามาทำงานได้ภายหลังการพักผ่อน 4 วัน และมีอาการเป็นพิษต่ำๆ ซึ่งมีความทนทานได้นาน 1-2 วัน (Guzelian et al., 1988) และพบว่าภายหลังการรับสัมผัสแบบเฉียบพลัน ที่ความเข้มข้น 200-800 ส่วนในล้านส่วนจะมีอาการผิดปกติ คือ ตื่นเต้น ตามด้วยอาการง่วงนอน ซึ่งเป็นอาการที่เกิดจากความผิดปกติของปัญญา จิตใจ กล้ามเนื้อหากมีการรับสัมผัสระยะเวลาที่นานขึ้น (Von Oettingen et al., 1942)

การรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นสูงๆ เนื่องจากการเกิดอุบัติเหตุในโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบประสาทส่วนกลาง หากได้รับสัมผัสทางการหายใจแบบเรื้อรังที่ความเข้มข้น 4,000-12,000 ส่วนในล้านส่วน (Gospe et al., 1994) อาการผิดปกติจะแตกต่างตามระดับความเข้มข้น เช่น ภายหลังการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน จะทำให้มีอาการปวดศีรษะ วิงเวียน ระคายเคืองตา ลำคอ ขา สับสน ง่วง การมองเห็นบกพร่อง สับสน หากมีอาการรุนแรงมากขึ้นจะสูญเสียสติสัมปชัญญะ หมดสติ และเสียชีวิต เป็นต้น

ทางเดินหายใจ สารโทลูอินจะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็วมากทางปอด ซึ่งภายหลังการหายใจเอาสารโทลูอินเข้าไป ที่ความเข้มข้น 8 ส่วนในล้านส่วน จะเริ่มได้กลิ่น ซึ่งการเริ่มได้กลิ่นสารโทลูอิน จะมีความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ OSHA PEL 25 เท่า (ที่ระดับ 200 ส่วนในล้านส่วน)

ดังนั้นสามารถใช้กลิ่นเตือนอันตรายจากสารโหลูอินได้ กรณีที่ไอระเหยของสารโหลูอินมีคุณสมบัติหนักกว่าอากาศ ดังนั้นหากอยู่ในพื้นที่ปิด หรือ มีการระบายอากาศไม่ดี ทำให้พนักงานขาดออกซิเจน และระคายเคืองเยื่อทางเดินหายใจได้ ส่วนการสูดดมสารโหลูอินเข้าสู่ปอดจะเกิดปอดอักเสบ

หัวใจ การรับสัมผัสสารโหลูอินความเข้มข้นสูงๆ ทำให้หัวใจผิดปกติ เช่น หัวใจห้องล่างบีบตัวผิดปกติ จะนำไปสู่โรคหัวใจหยุดเต้นได้ นอกจากนั้น Gericke C et al. (2001) ระบุว่า การรับสัมผัสสารโหลูอินมีความสัมพันธ์ที่เพิ่มขึ้นกับความดันโลหิตที่สูงขึ้น และอายุก็มีความสัมพันธ์ต่อระดับความดันโลหิตที่สูงขึ้น

ไต ภายหลังการหายใจเอาสารโหลูอินความเข้มข้นสูงๆ เข้าไป จะมีการย่อยสลาย เกิดการเสียสมดุลของกรดและด่างภายในร่างกาย ทำให้เกิดความผิดปกติตามมา เช่น ขาดโพแทสเซียม และฟอสเฟต การรับประทานยาแอสไพริน หรือ ตี๋มสุราจะทำให้อายุของสารโหลูอินภายในร่างกายนานขึ้น นอกจากนั้นอาจพบเลือดและโปรตีนปะปนในปัสสาวะได้

ผิวหนัง ภายหลังที่มีการรับสัมผัสสารโหลูอินที่ผิวหนังซ้ำๆ ทำให้ระคายเคืองที่ผิวหนังเนื่องจากไขมันถูกทำลาย นอกจากนั้นพบว่า การรับสัมผัสสารโหลูอินจะทำให้ผิวหนังแตก และยังพบว่าสารโหลูอินสามารถกดภูมิคุ้มกันจนเกิดภูมิแพ้ที่ผิวหนังได้ (Ramos et al., 2008) และพบว่า การรับสัมผัสสารตัวทำละลายอาจมีความสัมพันธ์กับการเป็นโรคเรื้อรัง Purdie GL et al. (2011) ส่วน Yajima Y. et al. (2005) มีการศึกษาจากการผ่าศพเพศชาย พบว่าผิวหนังถูกทำลายแต่ไม่มีรายงานการศึกษาใดระบุว่าเกิดอาการผิดปกติทางผิวหนังภายหลังการหายใจเอาสารโหลูอินความเข้มข้น 100–2,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 95 วันเข้าสู่ร่างกาย

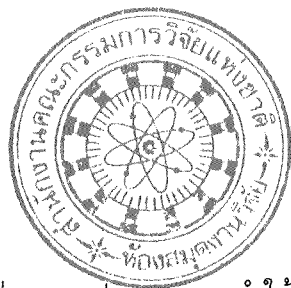
ตา การศึกษาในมนุษย์ที่รับสัมผัสสารโหลูอินนาน 6–8 ชั่วโมง ความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน พบว่าทำให้มีอาการระคายเคืองตา (Andersen et al., 1983; Baelum et al., 1985; Meulenbelt et al., 1990) แต่ไม่มีอาการระคายเคืองตาภายหลังการรับสัมผัสสารโหลูอิน ความเข้มข้น 40 ส่วนในล้านส่วนนาน 6 ชั่วโมง (Andersen et al., 1983) และพบว่าทำให้เกิดการระคายเคืองตา ตาอักเสบเล็กน้อยที่ความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วน และเมื่อสารโหลูอินกระเด็นเข้าตาจะทำให้เกิดปวดแสบปวดร้อน เยื่อบุตาอักเสบ และเกิดการบาดเจ็บที่กระจกตาได้ และมีรายงานการศึกษา ในหนูทดลองที่ตั้งครรภ์ที่รับสัมผัสสารโหลูอินความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วนนาน 6 ชั่วโมง 21 วัน มีอาการน้ำตาไหล (lacrimation) (Ono et al., 1996)

ตับ และทางเดินอาหาร การรับสัมผัสสารโหลูอินจะมีผลกระทบต่อตับ และทางเดินอาหาร โดย เคยมีการรายงานว่าตับถูกทำลายในผู้ใช้สารโหลูอิน ผลกระทบต่อทางเดินอาหาร พบว่าหากกลืนกินสารโหลูอินเข้าไปจะทำให้มีอาการระคายเคืองกระเพาะอาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย เป็นต้น

แบบเรื้อรัง

ผลกระทบแบบเรื้อรังของสารโหลูอินต่อร่างกายมีหลายระบบ เช่น ระบบประสาท ทางเดินหายใจ หัวใจ ไต ระบบสืบพันธุ์ ระบบเลือด และการเกิดมะเร็งโดยมีรายละเอียด ดังนี้

ระบบประสาท ความบกพร่องของระบบประสาทส่วนกลางเกิดจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลาย รวมถึงสารโหลูอินแบบเฉียบพลัน กึ่งเรื้อรัง และเรื้อรัง ซึ่งการรับสัมผัสแบบเรื้อรังมี



ความสัมพันธ์ต่อระบบประสาท จนทำให้มีอาการผิดปกติตั้งแต่ระดับเล็กน้อย จนมีอาการรุนแรงมากขึ้น เช่น หดสติและรุนแรงจนเสียชีวิตได้ (Caldemeyer et al., 1996; Devathasan et al., 1984) มีการศึกษาพบว่า การรับสัมผัสสารโทลูอินระยะเวลานานอาจก่อให้เกิดการทำลายระบบประสาทส่วนกลาง (Rosenberg et al., 1988b) การรับสัมผัสสารโทลูอินระยะเวลานานจะมีผลกระทบต่อระบบต่างๆ ในร่างกาย เช่น ระบบประสาทส่วนกลางและระบบประสาทส่วนปลาย เช่น Tsatsakis AM et al. (1997) ได้รายงานกรณีศึกษาในช่างทาสี เพศชาย จำนวน 2 ราย อายุ 18 และ 30 ปี ตามลำดับ ที่ได้รับสัมผัสสีที่มีส่วนผสมของสารโทลูอินและสารชนิดอื่นเข้าไปโดยบังเอิญขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในชั้นใต้ดิน ทำให้มีผู้เสียชีวิต 1 ราย และพบระดับสารตัวทำลายในสมอง ซึ่งระดับความเข้มข้นสูงสุดอยู่ที่สมองและตับ

การรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นต่างๆ กันจะมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง และส่วนปลายแตกต่างกันไปด้วย เช่น ความเข้มข้นน้อยกว่า 200 ส่วนในล้านส่วนจะทำให้มีอาการผิดปกติ เช่น ปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน เบื่ออาหาร อ่อนแรง ประสาทส่วนปลายผิดปกติ พนักงานที่รับสัมผัสสารโทลูอิน ความเข้มข้น 200-500 ส่วนในล้านส่วนบ้าง ทำให้มีอาการสูญเสียการทำงานของกล้ามเนื้อ สูญเสียความทรงจำ พฤติกรรมเปลี่ยนแปลง เบื่ออาหาร ประสาทตาบกพร่อง อาจจะมีอาการมองเห็น สภาวะทางจิตผิดปกติ เป็นต้น นอกจากนั้นมีการศึกษาในหนูทดลองที่มีการรับสัมผัสสารตัวทำลายเรื้อรัง จะทำให้เปลี่ยนแปลงรูปแบบการนอนในหนูทดลองได้ Alfaro-Rodríguez A et al. (2011)

ผลกระทบของการรับสัมผัสสารโทลูอินต่ออาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ เคยมีรายงานการศึกษาในผู้ติดสารโทลูอิน พบอาการผิดปกติเกี่ยวกับระบบประสาท ความผิดปกติอาจเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสมอง Murata et al. (1993) เคยมีการศึกษากลุ่มที่รับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงานทำรองเท้า ทำการพิมพ์ และผลิตอุปกรณ์เครื่องเสียง โดยมีการประเมินอาการผิดปกติระหว่างที่มีการรับสัมผัสเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจำนวน 130 คน พบความชุกของอาการผิดปกติ คือ อาการวิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะ และอาการอื่นๆ เช่น อาการเจ็บคอ ระบายเคืองตา เมื่อจำแนกการรับสัมผัสเป็น 2 กลุ่ม คือ ต่ำกว่า 40 ส่วนในล้านส่วน และมากกว่า 40 ส่วนในล้านส่วน พบความชุกของการเกิดอาการปวดศีรษะ เจ็บคอ แต่ไม่พบอาการวิงเวียนศีรษะ (Yin et al., 1987)

นอกจากนั้นผลศึกษาในช่างพิมพ์ที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 83 ส่วนในล้านส่วนนาน 1-36 ปี บางรายให้สัมภาษณ์ว่าเขามีอาการอ่อนเพลีย ปวดศีรษะไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มควบคุม (Murata et al., 1993) มีหลายการศึกษาที่ระบุว่า การรับสัมผัสสารโทลูอินบ้าง จะเพิ่มอุบัติการณ์ในการเกิดอาการผิดปกติทางระบบประสาทได้ (Orbaek and Nise, 1989) เช่น จากการทดสอบการแสดงออก โดย Neurobehavioral tests (Boey et al., 1997)

ผลกระทบต่อการมองเห็นบกพร่อง และการมองเห็นสีบกพร่อง มีหลายการศึกษาที่ศึกษาการรับสัมผัสจากการทำงานแบบเรื้อรังที่ความเข้มข้น 30-130 ส่วนในล้านส่วน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการมองเห็น (Vrca et al., 1997) การมองเห็นสี (Zavalic et al., 1998) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง (Morata et al., 1997) มีผลการศึกษาของ Hunnewell J, Miller NR. (1998) ที่ระบุว่าหญิงอายุ 36 ปีที่มีอาการผิดปกติ คือ ตาพร่ามัว มองไม่ชัด เนื่องจากการติดสารโทลูอิน Suzuki K et al. (1992) ศึกษาในผู้ป่วยเพศชายอายุ 21 ปีที่ป่วย

เป็นโรคพิษจากสารโหลูอินเนื่องจากการดมทินเนอร์ พบว่ามีความผิดปกติที่ส่วนต่างๆ ของสมอง เช่น Cerebral white matter, basal ganglia, internal capsule, Brain stem and middle cerebellar peduncle ดังนั้นทำให้ผู้ป่วยมีอาการผิดปกติทางระบบประสาท เช่น มองภาพซ้อน พูดตะกุกตะกัก ภายหลังการดมทินเนอร์นาน 8 ปี นอกจากนั้น มีการศึกษาในพนักงานเพศหญิงจำนวน 30 คน ที่รับสัมผัส 88 ส่วนในล้านส่วน กลุ่มควบคุม จำนวน 30 คนที่อยู่โรงงานเดียวกันรับสัมผัสสารโหลูอิน 13 ส่วนในล้านส่วน พบว่ากลุ่มที่รับสัมผัสความเข้มข้นสูงกว่าจะมีความบกพร่องการมองเห็นมากกว่ากลุ่มควบคุม (Foo et al., 1990)

ส่วนผลกระทบต่อการเกิดการมองเห็นสี Zavalic et al. (1998) ได้ศึกษาในกลุ่มควบคุมจำนวน 83 คน ช่างทำรองเท้าจำนวน 41 คนที่รับสัมผัสสารโหลูอิน ที่ความเข้มข้น 0, 35, หรือ 156 ส่วนในล้านส่วน และมีการประเมินระดับกรดฮิพิวริกในปัสสาวะในช่วงสิ้นสุดการทำงาน พบว่ามีความสำคัญของการมองเห็นสีของกลุ่มรับสัมผัสว่ามีการมองเห็นสีบกพร่องมากกว่ากลุ่มควบคุม เมื่อวิเคราะห์พบความสัมพันธ์มีนัยสำคัญระหว่างตัวแปรเพศ การดื่มสุรากับการศึกษาความสับสนเกี่ยวกับสี โดยมีการปรับอายุ การดื่มสุรา โดยพบว่าดัชนีความสับสนสี (Color confusion indices) มีความสัมพันธ์กับการรับสัมผัสสารโหลูอินในอากาศ เลือด และปัสสาวะในช่วงพิมพ์ แต่ไม่มีนัยสำคัญในช่วงทำรองเท้าและพบความบกพร่องในการมองเห็นสี มีการศึกษาในพนักงานเพศชาย จำนวน 45 คนที่รับสัมผัสสารโหลูอินความเข้มข้น 120 ส่วนในล้านส่วน พบว่าการมองเห็นสีมีนัยสำคัญกับการรับสัมผัสสารโหลูอินเทียบกับกลุ่มควบคุม (Zavalic et al., 1998)

ผลกระทบต่อการดมกลิ่น Jacquot L et al. (2006) มีผลการศึกษาการรับสัมผัสสารโหลูอินในหนูทดลองกับการเปลี่ยนของการทำหน้าที่ของการดมกลิ่นภายหลังการรับสัมผัสสารโหลูอินนาน 1 เดือน การรับสัมผัสสารความเข้มข้น 1,000 ส่วนในล้านส่วน 5 ชั่วโมงต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ เริ่มแรกมีการทดสอบพฤติกรรม (Behavioral evaluation) โดยวิธี (T-maze test) พบว่าพฤติกรรมมีความไวลดลงระหว่างสัปดาห์ที่ 1-4 อย่างไรก็ตามในช่วงสัปดาห์ที่ 7-8 พบว่าค่าความไวจากการรับสัมผัสสารโหลูอินจะกลับไปสู่สภาวะปกติ ประการถัดมาเป็นการศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเยื่อ เช่น ความหนาแน่นของเยื่อ Olfactory epithelium ภายหลังการรับสัมผัสสารโหลูอิน พบว่าจำนวนเซลล์ในช่วงสัปดาห์ที่ 1-2 ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ และจำนวนเซลล์เริ่มมีจำนวนลดลงในช่วงสัปดาห์ที่ 3-4 หลังจากนั้นในสัปดาห์ที่ 5 เริ่มฟื้นฟูสภาพเข้าสู่สภาวะปกติและคงที่ในสัปดาห์ที่ 6-8

ผลกระทบต่อการเบื่ออาหาร การเปลี่ยนแปลงการรับรส ซึ่ง Gauthereau-Torres MY et al. (2009) ศึกษาทางระบาดวิทยาเพื่อป้องกันว่าการรับสัมผัสสารตัวทำละลายแบบเรื้อรังเป็นสาเหตุของการเบื่ออาหาร เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการรับรส โดยศึกษาในหนูแรทที่รับสัมผัสสารตัวทำละลายชนิดต่างๆ เช่น สารโหลูอิน เบนซีนและสารไซลีนที่ความเข้มข้น 6,000 ส่วนในล้านส่วนใน ผลการศึกษาพบว่าค่า Glutamate solution .0 หนูกลุ่มรับสัมผัสสารตัวทำละลายที่รับเข้าไปจะมากกว่ากลุ่มควบคุม

ผลกระทบต่อรูปแบบการนอน จากการศึกษาในกลุ่มที่รับสัมผัสสารโหลูอินจำนวน 95 คน TWA เท่ากับ 41-46 ส่วนในล้านส่วน ระหว่างที่มีการทำรองเท้า ทำการพิมพ์ และผลิตอุปกรณ์เครื่องเสียง โดยมีการประเมินอาการผิดปกติระหว่างที่มีการรับสัมผัสเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจำนวน

130 คน พบความชุกของอาการผิดปกติ คือ นอนไม่ค่อยหลับ (Yin et al., 1987) ส่วนการศึกษาของ Indulski JA et al. (1996) พบว่าการรับสัมผัสสารกลุ่มไฮโดรคาร์บอน เช่น สารโทลูอิน สารไซลีนจะมีความสัมพันธ์ต่ออาการผิดปกติต่างๆ เช่น นอนไม่หลับ หงุดหงิด ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ นอกจากนั้นยังมีการศึกษาในหนูทดลองที่มีการรับสัมผัสสารตัวทำละลายเรื้อรังจะทำให้เปลี่ยนแปลงรูปแบบการนอนในหนูทดลองได้ (Alfaro-Rodríguez A et al., 2011)

ผลกระทบต่อการทำงานของกล้ามเนื้อ มีการศึกษาอาการพิษต่อระบบประสาทและการทดสอบการลดความสามารถในการรับรู้และการทำหน้าที่ของระบบประสาทและกล้ามเนื้อในพนักงานที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 80–150 ส่วนในล้านส่วน (Boey et al., 1997; Murata et al., 1993; Orbaek and Nise, 1989) นอกจากนั้นมีการศึกษาที่ระบุว่าพบความสัมพันธ์อย่างมากระหว่างความบกพร่องของระบบประสาทและการแสดงออกกับการรับสัมผัสสารโทลูอิน มีผลต่อความบกพร่องในการหยิบจับสิ่งของ (Foo et al., 1990) นอกจากนั้นจะมีผลกระทบทำให้ชามือ ดังการศึกษาของ Jovanović J et al. (2004) ที่ศึกษาผลกระทบจากการรับสัมผัสสารโทลูอินอย่างเรื้อรังในโรงงานผลิตสีและแล็กเกอร์ ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารโทลูอินสูงเกินค่ามาตรฐาน การประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอินในกลุ่มรับสัมผัส จะทำให้มีอาการชามือ นอกจากนั้นมีอาการอื่นๆ เช่น อ่อนเพลีย ตื่นเต้นง่าย เสียสมาธิ หลงลืม ปวดศีรษะถี่มากกว่ากลุ่มเปรียบเทียบ และมีการศึกษาอัตราส่วนในนักบิน ชาวอเมริกา 27 คน ที่การได้รับสารโทลูอินสะสม 23.8 ± 6.1 ส่วนในล้านส่วน พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างการรับสัมผัสสารโทลูอินและการเคลื่อนไหว (Smith et al., 1997)

ส่วนการศึกษาความชุกของอาการทางระบบประสาทแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรังในพนักงานผลิตสีที่รับสัมผัสสารตัวทำละลายผสมในโรงงานผลิตสี พบพนักงานทุกรายไม่มีอาการผิดปกติทางระบบประสาท เช่น การประสานงานของกล้ามเนื้อบกพร่อง กล้ามเนื้ออ่อนแรง ภายหลังที่ติดในส่วนการดื่มเหล้ามากกว่า 8 กรัมต่อสัปดาห์ออกไป ($n = 8$) รับประทานยาลดความดันโลหิต ($n = 4$) หรือ โรคจิต ($n = 1$) (Wang and Chen, 1993)

ผลกระทบต่อความจำ และการพูด การออกเสียง และการได้ยิน การรับสัมผัสสารโทลูอินระยะเวลายาวนานจะมีผลกระทบต่องานของคลื่นสมองอย่างถาวร และพบว่ามีและมีอาการสั้น เซ ชัก หวาดระแวง ประสาทหลอน ความบกพร่องในการมองการพูด การได้ยิน (Miyagi et al., 1999; Morata et al., 1997) เช่น ในการศึกษาในกลุ่มช่างพิมพ์ที่รับสัมผัสสารโทลูอิน จำนวน 29 คน ที่ความเข้มข้นแบบเฉลี่ย 8 ชั่วโมงในการทำงาน เท่ากับ 90.9 ส่วนในล้านส่วนเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม พบว่าการทดสอบการทดสอบความจำทั้งออกเสียงและไม่ออกเสียงน้อยกว่ากลุ่มควบคุม (Boey et al., 1997) การรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นต่ำๆ 97 ส่วนในล้านส่วน นาน 12–14 ปี มีผลกระทบต่อการได้ยินในช่างพิมพ์ จำนวน 40 คน (Abbate et al., 1993)

ผลกระทบต่ออาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลียง่าย สั่น เคยมีการศึกษาพบว่าความรุนแรงของการรับสัมผัสสารโทลูอินมีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติแบบเฉียบพลัน เช่น ปวดศีรษะ แน่นหน้าอก และอาการแบบเรื้อรัง เช่น วิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลียง่ายอารมณ์หงุดหงิดง่าย สั่น ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างอาการผิดปกติระบบประสาทส่วนปลายและระดับการรับสัมผัส ซึ่งกลุ่มที่รับสัมผัสความเข้มข้นสูงๆ มีการพัฒนาต่ออาการผิดปกติแบบเฉียบพลันจำนวนสองอาการหรือมากกว่าสองอาการเท่ากับ

2.7 เท่า และอาการเรื้อรัง 3.3 เท่า (Wang and Chen, 1993) อย่างไรก็ตามอาจมีความผิดพลาดเนื่องจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลายหลายชนิด เช่น สารเบนซีน และสารไซลีน

สอดคล้องกับผลการศึกษาของธนสร ตันตุงการและคณะ (2547) นอกจากนั้นมีการศึกษาการรับสัมผัส และผลกระทบต่อสุขภาพในพนักงานสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 44 คน พบพนักงานมีอาการปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ และอ่อนเพลีย ร้อยละ 36.4 36.4 และ 20.5 ตามลำดับ การศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับผลกระทบต่อสุขภาพของพนักงาน

ผลกระทบต่ออาการผิดปกติทางจิตใจและอารมณ์ มีผลการศึกษาระบุว่าโรคไวต่อสารเคมีหลายชนิด (Multiple chemical sensitivity, MCS) เป็นโรคที่เกิดจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลาย ความเข้มข้นต่ำๆ ถึงแม้ว่ายังมีหลักฐานที่ขัดแย้งว่ามีผลกระทบต่ออาการเกิดโรคจิตหรือไม่ (Psychological disorder) มีการประเมินความผิดปกติของร่างกายจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลาย โดยใช้เครื่องมือชนิดต่างๆ มีการศึกษาของ Gericke C et al. (2001) ในโรงพิมพ์ที่มีการใช้สารตัวทำละลายประเภทสีในการเป็นหมึกพิมพ์วารสารและแคตตาล็อกต่างๆ โดยวัตถุดิบที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือ สารไทลูอิน ศึกษาจำนวน 12 โรงงาน ในพนักงานเพศชายจำนวน 1,226 ราย มีการตรวจร่างกายจำนวน 1,077 ราย เช่น ตรวจสภาวะทางจิตวิทยาทางสังคม ทางจิตใจ อาการผิดปกติต่างๆ นอกจากนั้นมีการเจาะเลือด ผลการศึกษาระบุว่าไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนว่าการรับสัมผัสสารไทลูอินระยะยาวจะมีความสัมพันธ์กับอาการเจ็บป่วยต่างๆ ในพนักงานในโรงพิมพ์ ในประเทศเยอรมนี ตะวันตก เป็นต้น

การรับสัมผัสสารไทลูอินยังมีผลกระทบต่ออาการมีอารมณ์หงุดหงิดง่าย สั้น เคยมีการศึกษาพบว่าความรุนแรงของการรับสัมผัสสารไทลูอินมีความสัมพันธ์กับอาการผิดปกติแบบเรื้อรัง อารมณ์หงุดหงิดง่าย รวมถึงอาการอื่นๆ เช่น สั้น วิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลียง่าย (Wang and Chen, 1993) ส่วน Shih HT et al. (2011) ศึกษาผลกระทบของการรับสัมผัสสารไทลูอินที่ความเข้มข้นสูงกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน (TWA มากกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน) ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้หวั่น โดยการประเมินระดับกรดเมทิลอีพิพิวริกในปัสสาวะและประเมินความชุกและความรุนแรงของอาการผิดปกติทางระบบประสาท โดยใช้แบบสอบถาม เครื่องประเมิน Neuropsychiatric battery และ Sympathetic -peripheral nerve function tests จากการศึกษา พบความสัมพันธ์ในทางบวกระหว่างอาการผิดปกติทางระบบประสาทและการประเมินจากการรายงานตนเอง (Self-reported neuropsychiatric measurement) ($r = 0.35-0.66$, $p < 0.05$) จากการศึกษาเสนอแนะว่าการรับสัมผัสความเข้มข้นต่ำๆ อย่างต่อเนื่องจะมีความสัมพันธ์กับความผิดปกติต่างๆ เช่น ทางระบบประสาทส่วนปลาย

นอกจากนั้นเมื่อไม่นานนี้มีการศึกษาการรับสัมผัสสารไทลูอิน สารไซลีน เบนซีนและผลกระทบต่อสุขภาพในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ใน Karabaglar, Izmir มีการสอบถามกลุ่มตัวอย่างที่เป็นพนักงานจำนวน 261 คน แบบสอบถามได้มาจากการดัดแปลงแบบสอบถามของ The modified EUROQUEST เพื่อใช้ในการประเมินอาการผิดปกติในระบบประสาทและมีการตรวจร่างกายทั่วไป ผลการศึกษพบว่าไม่มีความแตกต่างของคะแนนของอาการผิดปกติของระบบประสาทที่ประเมินจากแบบสอบถามระหว่างกลุ่มรับสัมผัสและกลุ่มเปรียบเทียบกับ แต่จากการตรวจ

ร่างกายพบว่ามีจำนวน 72 ราย ที่มีรีเฟรกซ์บกพร่อง อย่างไรก็ตามพนักงานส่วนใหญ่ไม่ตระหนักว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลายดังกล่าว (Mandiracioglu A et al., 2011)

ทางเดินหายใจ ผลกระทบของสารโหลอินต่อทางเดินหายใจ ทำให้มีอาการผิดปกติ คือ ระคายเคือง ซึ่งมีการศึกษาในอาสาสมัคร (Andersen et al., 1983; Baelum et al., 1985) และกลุ่มผู้รับสัมผัส (Parmeggiani and Sassi, 1954) ระบุว่า การรับสัมผัสสารโหลอินทำให้มีอาการระคายเคืองทางเดินหายใจระดับเล็กน้อยจนถึงปานกลาง แรกสุดมีการศึกษาในสัตว์ทดลองโดย Von Oettingen et al. (1942) ซึ่งรายงานว่าหนูแรทที่รับสัมผัสสารโหลอินความเข้มข้นสูงๆ ได้รับผลกระทบต่อทางเดินหายใจ คือ ระคายเคืองทางเดินหายใจและมีพยาธิสภาพที่ปอด ซึ่งการศึกษานี้สนับสนุนผลการศึกษาที่พบว่าทำให้เกิดพยาธิสภาพที่โพรงจมูกด้วย รวมถึงความผิดปกติที่เยื่อปอดมกลืน และเยื่อทางเดินหายใจในหนูทดลองที่รับสัมผัสสารที่ความเข้มข้นจาก 600-1,200 ส่วนในล้านส่วน 6.5 ชั่วโมงต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ นาน 2 ปี (NTP, 1990)

ส่วนผลการศึกษาในหนูโมซที่รับสัมผัสสารที่ความเข้มข้นเท่ากันพบว่าไม่แสดงความผิดปกติของทางเดินหายใจส่วนต้นและส่วนปลาย (NTP, 1990) การรับสัมผัสสารโหลอินทางการหายใจแบบเฉียบพลัน แบบปานกลาง และแบบเรื้อรังจากของเสียอันตราย พบว่าอาจเป็นสาเหตุทำให้เกิดการระคายเคืองในทางเดินหายใจ โดยเฉพาะหากมีการปล่อยสารโหลอินความเข้มข้นสูงๆ เข้าไปในสถานที่อับอากาศ แต่คาดว่าไม่น่ามีผลกระทบต่อปอด หรือ หลอดลมด้วย

จากการศึกษาในมนุษย์ เช่น การศึกษาของ Mandiracioglu A et al. (2011) เกี่ยวกับการรับสัมผัสสารโหลอิน สารไซลีน เบนซีนและผลกระทบของสารเหล่านี้ต่อสุขภาพพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ใน Karabaglar, Izmir พบว่าสารเคมีอาจจะกระตุ้นทำให้เกิดโรคหอบหืดและภูมิแพ้ได้ ส่วนการศึกษาในพนักงานพ่นสีจำนวน 13 คน ความเข้มข้น (0.8-4.8 ส่วนในล้านส่วน) ที่มีส่วนประกอบของสารโหลอิน และบิวทิล อะซิเตด (Toluene and Isobutylacetate) พบว่ามีความผิดปกติเกี่ยวกับเยื่อจมูก (Hellquist et al., 1983) เคยมีรายงานการศึกษาการรับสัมผัสสารตัวทำละลายผสม โดยมีส่วนประกอบหลัก คือ สารโหลอิน ในพนักงานจำนวน 42 คน ซึ่งระบุว่าพนักงานมีอาการผิดปกติต่างๆ คือ ระคายเคืองจมูก และอาการระบบอื่นๆ เช่น คลื่นไส้ วิงเวียนศีรษะ ปวดศีรษะเมื่อรับสัมผัสสารโหลอินที่ความเข้มข้น 1-80 ส่วนในล้านส่วน (เฉลี่ย 15 ส่วนในล้านส่วน) (Winchester and Madjar, 1986)

อย่างไรก็ตามพบว่าการรับสัมผัสสารโหลอิน และสารไซลีนเข้าสู่ร่างกายจะมีความสัมพันธ์กับการทำหน้าที่ของสมรรถภาพปอดที่ลดลง เช่น Mørck HI et al. (1988) ศึกษาผลกระทบของการรับสัมผัสสารโหลอินในพนักงานเพศชาย จำนวน 262 รายในโรงงานผลิตหมึกพิมพ์ มีการประเมินการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง สัมภาษณ์ ประเมิน สมรรถภาพปอด ผลการศึกษาพบว่าค่าสมรรถภาพปอด มีความสัมพันธ์กับระดับการรับสัมผัสสารโหลอิน

หัวใจ การหายใจเอาสารโหลอินเข้าสู่ร่างกายที่ความเข้มข้นมากกว่า 1,000 ส่วนในล้านส่วนมีผลกระทบต่อจังหวะการเต้นของหัวใจในมนุษย์และสัตว์ทดลอง (Ikeda et al., 1990; Magos et al., 1990) แต่การรับสัมผัสในหนูแรท หรือ หนูโมซที่ความเข้มข้น 12,000 ส่วนในล้านส่วน (3 ชั่วโมงต่อวัน) และ 1,200 ส่วนในล้านส่วน (6.5 ชั่วโมงต่อวัน) พบว่าไม่มีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อของหัวใจ (Ikeda et al., 1990) การรับสัมผัสสารโหลอินที่มีผลกระทบต่อจังหวะการเต้นของหัวใจมักเกิด

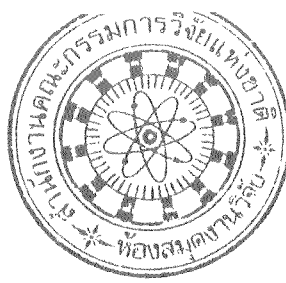
จากการรับสัมผัสสารที่ความเข้มข้นสูงๆ เช่น ในผู้ติดสารเสพติด หรือ การปฏิบัติงานในสถานที่อับอากาศ นอกจากนั้นก็มีผู้รายงานว่า ผู้รับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงานเพศชาย จำนวน 262 รายในโรงงานผลิตหมึกพิมพ์ โดยมีการประเมินการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง ผลการศึกษาพบว่ามีความสัมพันธ์ต่อค่าความดันโลหิต ($p < 0.01$) (Mørck HI et al., 1988)

ไต่ การรับสัมผัสสารโทลูอินทำให้มีผลกระทบต่ไต่ได้ ซึ่ง Shih HT et al. (2011) ศึกษาผลกระทบของการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นสูงกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน (TWA มากกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน) ต่อการเกิดพิษต่อไต่ในมนุษย์ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้หวั่น อย่างไรก็ตาม กลไกทางพยาธิ สรีรวิทยายังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจน จากการศึกษาระบุว่าสารโทลูอินจะมีผลกระทบต่ไต่ ในผู้ที่รับสัมผัสสาร (Yajima Y et al., 2005) ส่วน Tsatsakis AM et al. (1997) รายงานผลการศึกษาเกี่ยวกับรายงานกรณีศึกษาในกลุ่มพนักงานเป็นช่างทาสี เพศชาย จำนวน 2 ราย อายุ 18 และ 30 ปี ตามลำดับ ที่ได้รับสัมผัสที่มีส่วนผสมของสารโทลูอินและสารชนิดอื่นเข้าไปโดยบังเอิญ ขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในชั้นใต้ดิน ทำให้มีผู้เสียชีวิต 1 ราย และพบระดับสารตัวทำลายใน ไต่ และ อวัยวะอื่นๆ ด้วย

ระบบสืบพันธุ์ ไม่มีผลการศึกษาที่สนับสนุนว่าการรับสัมผัสสารโทลูอินจะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ในมนุษย์ ผลการศึกษาในสัตว์ทดลองก็ไม่มีหลักฐานสนับสนุนข้อมูลดังกล่าว (NTP, 1990; Ono et al., 1996) อย่างไรก็ตามมีผลการศึกษาที่ระบุว่าการรับสัมผัสสารโทลูอินจะทำให้มีความผิดปกติที่โครงสร้างของรังไข่ และการผลิตอสุจิในหนูทดลอง (Ono et al., 1996; Tap et al., 1996) และมีรายงานว่า การรับสัมผัสสารโทลูอินจะทำให้เกิดการแท้งลูก (Ng et al., 1992; Taskinen et al., 1989)

นอกจากนั้น Ng et al. (1992) รายงานการเกิดอุบัติการณ์การแท้งลูกในพนักงานเพศหญิง ในโรงงานผลิตอุปกรณ์เครื่องเสียงที่รับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 50-150 ส่วนในล้านส่วน (เฉลี่ย 88 ส่วนในล้านส่วน) นาน 10 ปี (12.4%) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่รับสัมผัสสารที่ความเข้มข้น 0-25 ส่วนในล้านส่วนในโรงงานเดียวกัน (2.9%) และกลุ่มควบคุม (4.5%) เพศหญิงไม่มีการดื่มเหล้า และสูบบุหรี่ ซึ่งสอดคล้องกับสถานะของสังคมโดยทั่วไป (Ng et al., 1992) นอกจากนั้น NG TP et al. (1992) มีการศึกษาอัตราการเกิดการแท้งลูกโดยการใช้แบบสัมภาษณ์ในหญิงตั้งครรภ์ที่เคยรับสัมผัสสารโทลูอิน ความเข้มข้น 50-150 ส่วนในร้อยละ เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม ผลการศึกษา ระบุว่า การแท้งลูกมีความสัมพันธ์กับกลุ่มที่เคยรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นสูง (12.4 ต่อหญิงตั้งครรภ์ 100 ราย) เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (2.9 ต่อหญิงตั้งครรภ์ 100 ราย) และกลุ่มควบคุมภายนอก (4.5 ต่อหญิงตั้งครรภ์ 100 ราย) ตามลำดับ

นอกจากนั้นมีการศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินมีผลกระทบต่อการมีประจำเดือน ในกลุ่มพนักงานเพศหญิงจำนวน 231 คนที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 50-150 ส่วนในล้านส่วนในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตหุฟ่ง โดยประเมินความบกพร่องของการมีประจำเดือน พบว่าหญิงที่รับสัมผัสสารตัวทำลายความเข้มข้นสูงกว่าจะมีภาวะของการเป็นไม่มีประจำเดือน (Dysmenorrhoea) มากกว่า อย่างไรก็ตามไม่มีหลักฐานชัดเจนที่ระบุถึงสาเหตุของการมีเลือดออกในมดลูกว่าเป็นผลมาจากการรับสัมผัสสารโทลูอินหรือไม่



ทั้งๆ ที่ยังไม่มีการยืนยันว่าเป็นสารตัวทำลายมีอันตรายต่อระบบสืบพันธุ์อย่างชัดเจน อย่างไรก็ตามทราบกันดีว่าเป็นสารที่สามารถดูดซึมผ่านรกและสามารถกำจัดออกทางนมมารดาได้ จากการศึกษาในสัตว์ทดลอง พบว่าสารโทลูอินเป็นสารที่ก่อให้เกิดอันตรายในตัวอ่อน แต่ไม่ใช่สารก่อการกลายพันธุ์ ซึ่ง Heuser VD et al. (2007) ศึกษาในพนักงานในโรงงานผลิตรองเท้าที่รับสัมผัสสารตัวทำลายผสมที่ใช้ในกาว สารทำความสะอาดไขมัน โดยศึกษาผลกระทบต่อสารพันธุกรรมที่รับสัมผัสสารตัวทำลายผสมของ สารโทลูอิน โดยมีการเก็บตัวอย่างเลือด เยื่อบุกระพุ้งแก้มพนักงานจำนวน 39 ราย และกลุ่มควบคุม จำนวน 55 ราย และดัชนีชี้วัดการรับสัมผัส คือ กรดฮิพพิวริก ในปัสสาวะ เพื่อประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอิน และประเมินการทำลายสารดีเอ็นเอ ผลการศึกษาพบว่า สารโทลูอิน สามารถทำลายดีเอ็นเอของกลุ่มพนักงานสูงเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม ($p < 0.001$)

ระบบเลือด ผลกระทบของสารโทลูอินต่อระบบเลือด มีอาการคล้ายๆ กับผลกระทบที่เกิดจากเบนซีน อย่างไรก็ตามสารโทลูอินเป็นสารตัวทำลายที่ค่อนข้างปลอดภัยในวงการอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เนื่องจากพบความผิดปกติต่อมนุษย์ค่อนข้างน้อย

มะเร็ง หน่วยงาน IARC และ EPA ไม่จัดว่าสารโทลูอินเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ ข้อมูลการรับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงานค่อนข้างจำกัด หรือ ไม่มีหลักฐานการศึกษาในมนุษย์ (<http://www.epa.gov/ncea/iris> อ้างจาก Anttila et al., 1998; Svensson et al., 1990; Wiebelt and Becker, 1999) มีการศึกษาการเสียชีวิตในพนักงานที่รับสัมผัสสารโทลูอิน แต่ไม่พบการเพิ่มขึ้นของอัตราการตาย (<http://www.epa.gov/ncea/iris> อ้างจาก Wiebelt and Becker, 1999) การศึกษาของ Svensson et al. (1990) ไม่พบอัตราการเพิ่มขึ้นของการเป็นมะเร็งในพนักงานทำหมึก แต่พบการเป็นเนื้องอกในระบบทางเดินหายใจ แต่การเพิ่มขึ้นไม่นัยสำคัญทางสถิติ (<http://www.epa.gov/ncea/iris> อ้างจาก Anttila et al., 1998)

สารไซลีน

แบบเฉียบพลัน

ผลกระทบแบบเฉียบพลันของสารไซลีนต่อร่างกายมีหลายระบบ เช่น ระบบประสาททางเดินหายใจ ผิวหนัง ตา ตับ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ระบบประสาท มีการศึกษาในรูปแบบจำลองพิษของสารไซลีนในสัตว์ทดลองที่ความเข้มข้นสูง 1,000 ส่วนในล้านส่วนทางหายใจ และนำไปเปรียบเทียบกับอาการสัมผัสในมนุษย์พบว่าระดับความเข้มข้นขนาดนี้จะทำให้มีอาการเคลิบเคลิ้มได้ สารไซลีนมีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางทำให้มีอาการปวดศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน ซึม สับสน หมดสติ เมื่อมีการหายใจที่ความเข้มข้น 700 ส่วนในล้านส่วนเข้าไป การรับสัมผัสสารไซลีนความเข้มข้นต่ำๆ ระยะเวลาสั้นไม่มีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง เคยมีรายงานในกลุ่มช่างทาสีชาวเดนมาร์กที่เป็นโรค “Danish painter’s syndrome” พบว่ามีอาการผิดปกติ คือ ปวดศีรษะ อ่อนแรง วิงเวียนศีรษะ บุคลิกภาพเปลี่ยนแปลง สมาธิ และความจำบกพร่อง เป็นต้น ส่วนผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนปลายงานวิจัยในสแกนดิเนเวียระบุว่าอาการสัมผัสสารไซลีน ทำให้เกิดโรคระบบประสาทส่วนปลายได้

ทางเดินหายใจ ส่วนใหญ่สามารถรับสัมผัสสารไซลีนเข้าสู่ร่างกายทางหายใจและจะดูดซึมเข้าสู่ปอดเร็วมาก กลิ่นของสารไซลีนจะชัดเจนที่ความเข้มข้น 1 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งน้อยกว่า 100 เท่า

ของ OSHA PEL และเป็นระดับเตือนภัยที่จะก่อให้เกิดอันตรายได้ จะมีอาการระคายเคืองคอที่ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้ขาดออกซิเจนได้หากพนักงานใช้สารไซลีนในพื้นที่ปิดหรือมีการระบายอากาศไม่ดี

ทราบกันว่าสารตัวทำละลายระเหยง่ายเป็นสาเหตุของการเสื่อมของการทำหน้าที่ของปอดในกลุ่มพนักงาน มีการศึกษาแบบตามไปข้างหน้าระยะยาวในผู้สูงอายุ จำนวน 154 คนในประเทศเกาหลี ผลการศึกษาพบว่าระดับเมแทบอลิซึมในปัสสาวะของสารโทลูอินและสารไซลีน คือ กรดฮิฟวิริก และกรดเมทิล ฮิฟวิริกในปัสสาวะมีความสัมพันธ์กับการลดลงของสมรรถภาพปอด คือ FEV₁, FEV₁/forced vital capacity (FVC), 25-75% FVC จากการศึกษานี้สรุปว่าสารโทลูอินและสารไซลีนทำให้เกิดผลกระทบต่อปอดและการทำหน้าที่ของปอด (Yoon HI et al., 2010)

ผิวหนัง การสัมผัสสารไซลีนซ้ำๆ จะทำให้เกิดผิวหนังอักเสบ แห้ง แตก เนื่องจากไขมันถูกทำลาย การสัมผัสอย่างเฉียบพลัน เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เกิดแผลที่มีทั้งสองข้าง และพบว่าสารไซลีนสามารถกดภูมิคุ้มกันจนเกิดภูมิแพ้ที่ผิวหนังได้ (Ramos et al., 2008) ก่อให้เกิดภูมิแพ้ที่ผิวหนัง และเกิดลมพิษ เคยพบว่าพนักงานสัมผัสสารเอม-สารไซลีนในสมีผลทดสอบภูมิแพ้ที่ผิวหนัง (Patch test) เป็นบวก (Romyhr et al., 2006)

ตา สารไซลีน และสารอะโรมาติกกลุ่มอื่นๆ ซึ่งระดับที่มีผลต่อการทำลายเซลล์มีอยู่ที่ความเข้มข้นสูงๆ เกิน 1,000 ส่วนในล้านส่วน เคยมีการศึกษาในอาสาสมัครที่สัมผัสสารที่มีความเข้มข้น 200-400 ส่วนในล้านส่วน ช่วงเวลาสั้นๆ (15 นาที ถึง 4 ชั่วโมง) พบอาการระคายเคือง เช่น น้ำตาไหล นอกจากนั้นไอระเหยของสารไซลีนจะทำให้เกิดการระคายเคืองเยื่อเมือกเล็กน้อย หากกระเด็นเข้าตาเกิดการบาดเจ็บที่กระจกตา (Trujillo et al., 2003) อาจทำให้ตาบอดได้ (Ansari, 1997)

ตับ มีการศึกษาในสัตว์ทดลองที่สัมผัสสารไซลีนผสมแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน หรือแบบกึ่งเฉียบพลันที่ความเข้มข้น 345-800 ส่วนในล้านส่วน พบผลกระทบคือเพิ่มระดับ Cytochrome P-450 และน้ำหนักของตับเพิ่มขึ้น ระดับไกลโคเจนลดลง มีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวของเซลล์ตับและการพัฒนาของตับผิดปกติ (Condie et al., 1988; Elovaara, 1982; Muralidhara and Krishnakumari, 1980; Pyykko 1980; Tatrai and Ungvary, 1980)

แบบเรื้อรัง

ผลกระทบแบบเรื้อรังของสารไซลีนต่อร่างกายมีหลายระบบ เช่น ระบบประสาท เลือด ตับ ไต มะเร็ง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ระบบประสาท ผลกระทบต่อระบบประสาทจากการสัมผัสสารไซลีนจะมีต่อระบบประสาทในมนุษย์ ประกอบด้วยอาการง่วง การทำงานของกล้ามเนื้อไม่ประสาน สั่น กล้ามเนื้อเกร็ง พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงไป สูญเสียการได้ยิน ชีวเคมีทางสมองเปลี่ยนแปลงไป (Andersson et al., 1981; Ghosh et al., 1987; Gralewicz et al., 1995)

ระบบเลือด ในอดีตเคยรายงานว่า การสัมผัสสารไซลีนจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อเลือด การสัมผัสสารไซลีนความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนก่อให้เกิดจำนวนเกล็ดเลือดลดลง เมื่อหยุดการสัมผัสระดับเกล็ดเลือดจะกลับไปสู่สภาวะปกติ แต่ยังไม่มีความชัดเจนว่าจะสรุปได้ชัดเจน แต่บางการศึกษาพบว่าไม่มีพิษต่อระบบเลือด (Uchida et al., 1997)

ดับ การรับสัมผัสสารโซลีนเป็นเวลานานจะทำให้ทำลายตับได้

ไต ผลกระทบของการรับสัมผัสสารโซลีนต่อไต เคยมีการศึกษาในหนูทดลอง สุนัข ลิง ที่รับสัมผัสสารโซลีนที่ความเข้มข้น เท่ากับ 50-2,000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าทำให้เพิ่มระดับ Cytochrome P-450 และเพิ่มน้ำหนักของไต (Condie et al., 1988; Elovaara, 1982; Toftgard and Nilsen, 1982) และพบว่าท่อไตขยายตัว ฝ่อ และเพิ่มไฮยาไลน์ในไตของหนูทดลองที่ได้รับสารโซลีนผสม 150 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวันทางปาก พบว่าทำให้ไตเสื่อมสภาพ

มะเร็ง IARC สรุปว่าสารโซลีนไม่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (กลุ่ม 3) ข้อมูลการเกิดมะเร็งในมนุษย์ มีไม่เพียงพอ เคยมีรายงานความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารโซลีน และความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวชนิด Non-Hodgkin's lymphoma, และมะเร็งทวารหนัก ลำไส้ หรือ ระบบประสาท (<http://www.epa.gov/ncea/iris> อ้างจาก Spirtas et al., 1991)

อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้ยังมีข้อจำกัดอยู่ เนื่องจากขนาดตัวอย่างค่อนข้างน้อย ไม่มีระดับความเข้มข้นที่รับสัมผัส และหรือ ความเข้มข้นที่รับสัมผัสในปัจจุบัน น้ำหนักของหลักฐานการศึกษาในมนุษย์ค่อนข้างจำกัด แต่มีหลักฐานในสัตว์ทดลองค่อนข้างมาก มีผลการศึกษาพบว่าสารโซลีนมีผลต่อกระเพาะปัสสาวะเล็กน้อย เมื่อทดสอบการรับสัมผัสสารโซลีนทางการหายใจเข้าๆ ไม่มีข้อมูลการศึกษาแบบเรื้อรัง แต่มีผลการศึกษาแบบกึ่งเรื้อรัง ซึ่งไม่พบน้ำหนักของหลักฐานในการเกิดมะเร็งอื่นๆ เช่น น้ำหนักเปลี่ยนแปลง ดับ เลือด ไต เปลี่ยนแปลง (<http://www.epa.gov/ncea/iris> อ้างจาก Carpenter et al., 1975; Jenkins et al., 1970; Korsak et al., 1992, 1994)

นอกจากนั้นเคยมีการประเมินความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งในพนักงานต่างๆ เช่น Purvis KL et al. (2001) ศึกษาในพนักงานแต่ละคนมีการรับสัมผัสสารตัวทำละลาย ในกระบวนการผลิตสีในเมืองไนโรบี ประเทศเคนยา โดยศึกษาในหลายกลุ่มอาชีพที่ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต เช่น ห้องปฏิบัติการ ผสมสี เติมน้ำ ทำความสะอาด และผลิตเรซิน ที่การรับสัมผัสสารตัวทำละลายนาน 8-10 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อมีการประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งจากการรับสัมผัสสารตัวทำละลายในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสี ตลอดอายุขัยมีค่าอยู่ในช่วง 1.90×10^{-4} ในแผนกขนส่งวัสดุดิบ และ 2.60×10^{-2} ในช่างทำความสะอาด การรับสัมผัสสูงสุด คือ แผนกทำความสะอาดและแผนกผสม มีความเสี่ยงอยู่ในช่วง 8.5×10^{-4} ถึง 2.6×10^{-2}

4. ดัชนีชี้วัดการรับสัมผัสและผลกระทบจากสารโกลูอินและสารโซลีน

4.1 ดัชนีชี้วัดการรับสัมผัส (Biomarkers of exposure) การประเมินการรับสัมผัส เป็นการวัดปริมาณสารเคมีที่มนุษย์มีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกาย หรือ ประเมินการสัมผัสสารเคมีบนผิวหนังของร่างกายจากแหล่งกำเนิดต่างๆ หรือจากตัวกลางต่างๆ ในที่นี้หมายถึง อากาศ เข้าสู่ร่างกาย ในทางเดินหายใจ การประเมินการรับสัมผัสในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อค้นหาชนิดของสารโกลูอิน สารโซลีนที่ร่างกายได้รับสัมผัสในบรรยากาศการทำงาน (อนามัย อธิวิโรจน์ เทศกะทีก, 2553)

การติดตามการรับสัมผัส เป็นวิธีการค้นหาข้อมูลในการรับสัมผัสสารเคมี ซึ่งมีหลายวิธี เช่น การติดตามการรับสัมผัสที่ตัวบุคคล (Personal monitoring) และการติดตามการรับสัมผัสทางสิ่งแวดล้อม (Environmental monitoring) ในการศึกษานี้ใช้วิธี การติดตามการรับสัมผัสที่ตัวบุคคล โดยการใช้ Passive badge

4.1.1 การติดตามการรับสัมผัสที่ตัวบุคคล (Personal monitoring) และการติดตามการรับสัมผัสทางสิ่งแวดล้อม (Environmental monitoring)

วิธีนี้เป็นวิธีตรวจวัดหาปริมาณสารเคมีบนร่างกายของกลุ่มคนที่มีโอกาสได้รับสารเคมี เช่น ประชาชนที่อาศัยอยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดสารเคมี หรือ พนักงานในโรงงานอุตสาหกรรม การเก็บตัวอย่างสามารถเก็บได้ใน 2 ลักษณะด้วยกัน เช่น การเก็บตัวอย่างบนผิวของร่างกายในทางต่างๆ เช่น ตำแหน่ง บนผิวหนัง บนทางเดินอาหารและทางเดินหายใจ เป็นต้น การเก็บตัวอย่างอากาศมักจะเก็บในรูปไอระเหยของสารตัวทำละลายหากความเข้มข้นสารตัวทำละลายสูงพอ สามารถเก็บตัวอย่างด้วยไซริงค์ อุปกรณ์เก็บแบบแก้ว หรือ ถุงพลาสติกที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แต่หากความเข้มข้นค่อนข้างต่ำจะนิยมเก็บตัวอย่างด้วยวิธีหลอดผงถ่าน (Charcoal tube) นอกจากนั้นนิยมเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Passive badge samplers การวิเคราะห์จะใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในการสกัดสารตัวทำละลายออกมาจากวัสดุดูดซับ หลังจากนั้นจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

การศึกษาการประเมินการรับสัมผัสสารโพลีอินและสารไซลีนในสถานประกอบการประเภทต่างๆ ที่ผ่านมามีหลายการศึกษาที่น่าสนใจ เช่น Hopf NB et al. (2011) ศึกษาความเข้มข้นของสารโพลีอินและสารไซลีนในอากาศ ในโรงงานปิโตรเคมีที่พนักงานมีโอกาสรับสัมผัสสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ มีการประเมินสารโพลีอิน สารไซลีนในอากาศจำนวน 3 ครั้งในกะการทำงานแบบ 12 ชั่วโมง พบค่าเฉลี่ยเรขาคณิตของสารโพลีอิน เท่ากับ 0.05 ส่วนในล้านส่วน และสารไซลีนเท่ากับ 0.06 ส่วนในล้านส่วน

นอกจากนั้นมีการศึกษาสภาพแวดล้อมในที่พักอาศัย โกดังเก็บของ และโรงแรม และโรงงานอุตสาหกรรมที่สร้างใหม่ในประเทศเอสโตเนีย มีการวัดระดับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม มีการประเมินการรับสัมผัสแบบติดตัวบุคคลระดับการหายใจในพนักงานก่อสร้างจำนวน 97 คน พบว่าความเข้มข้นสารตัวทำละลาย เช่น สารโพลีอินและสารชนิดอื่นๆ ต่ำกว่าค่ามาตรฐานสำหรับการทำงานภายในอาคาร (Bogovski S et al., 2007) นอกจากนั้นมีการศึกษาการรับสัมผัสสารประกอบสารโพลีอินและสารไซลีน ในประเทศจีน จำนวน 233 คน ใน 8 ชั่วโมงการทำงาน พบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของสารโพลีอิน เท่ากับ 203 ส่วนในล้านส่วน และสารไซลีน เท่ากับ 103 ส่วนในล้านส่วน ส่วน Chen Z et al. (1994)

ส่วนการศึกษาในประเทศไทยมีหลายการศึกษาที่น่าสนใจ เช่น การศึกษาของกระทรวงสาธารณสุข ที่ได้มีการเฝ้าคุมอันตรายทางชีวภาพจากสารโพลีอินจากบรรยากาศในการทำงาน จำนวน 496 คน สรุปได้ว่าอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตราย (กระทรวงสาธารณสุข, 2542) นอกจากนั้นได้มีการประเมินความเข้มข้นของสารโพลีอินและสารไซลีนในอุโมงค์ขุดแร่ใยหิน โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบติดกับตัวบุคคลโดยใช้ Charcoal tube และประเภทติดตั้งกับพื้นที่โดยใช้ Air bag (Tedlar) ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของสารโพลีอิน และสารไซลีนในทุกบริเวณที่ทำการศึกษาไม่มีค่าใดเกินมาตรฐาน โดยค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารโพลีอินที่ห้องผสมสี จากการเก็บตัวอย่างประเภทติดกับตัวบุคคลโดยใช้ Charcoal tube คือ 161.98 มก./ลบ.ม.และ327.16 มก./ลบ.ม.ตามลำดับ (ดุขฎิ หมื่นท้อ, 2542)

และมีการศึกษาประเมินความเข้มข้นของสารโพลีอินในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก โดยการเก็บแบบติดตัวบุคคล พบว่าความเข้มข้นของสารโพลีอินเท่ากับ 7.84 ส่วนในล้านส่วน (3.98-24.12 ส่วนในล้านส่วน) ส่วนการเก็บแบบพื้นที่ พบว่าค่ามัธยฐาน เท่ากับ 4.47 ส่วนในล้านส่วน

(2.62-20.83 ส่วนในล้านส่วน) ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานของ ACGIH (วัลภา ศรีสุภาพ, 2547)

4.1.2 การติดตามการรับสัมผัสทางชีวภาพ (Bio monitoring)

เป็นวิธีการติดตามการรับสัมผัสสารเคมีในร่างกายที่ค่อนข้างแม่นยำ มีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมินการรับสัมผัสสารเคมีจากสารคัดหลั่งภายในร่างกาย เป็นการตรวจทางห้องปฏิบัติการเพื่อหา ระดับของสารใดสารหนึ่งที่อยู่ในร่างกายพนักงาน ตรวจได้จากเลือด ปัสสาวะ เล็บ ผม ลมหายใจออก เป็นต้น ส่วนการตรวจปัสสาวะเป็นการตรวจหาปริมาณสารพิษที่ถูกขับออกมาทางไต เพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารในรูปเมแทบอลิท์ของสารในปัสสาวะ ควรเก็บปัสสาวะในเวลาเหมาะสม ปกติเมื่อมีการดูดซึมสารเคมีเข้าสู่ร่างกาย จะมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและถูกขับออกจากร่างกายภายใน 15-30 นาที

ภายหลังการประเมินการรับสัมผัสสารเคมีจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานเข้าสู่ร่างกายดังกล่าว จะนำค่ามาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ (Biological Exposure Indices, BEIs) ซึ่งอาจวัดในรูปของสารเดิม (Parent compounds) หรือ วัสดุสารที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว หรือ เรียกว่า เมแทบอลิท์ ตัวอย่างเช่น การย่อยสลายสารโทลูอิน คือ กรดฮิพพิวริก ส่วนสารไซลีน คือ กรดเมทิลฮิพพิวริก เป็นต้น ซึ่งค่ามาตรฐานของสารโทลูอินและสารไซลีนในร่างกายนั้น ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) กำหนดว่าค่าดัชนีชีวภาพ (Biological Exposure Index) ของสารโทลูอินในเลือดเท่ากับ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะเท่ากับ 1,600 มก./ก.ครีเอตินีน (1.6 กรัมต่อกรัมครีเอตินีน) ซึ่งกำหนดให้เก็บจากพนักงานภายหลังจากเลิกงาน (End of shift)

สารโทลูอินและรูปเมแทบอลิท์สามารถประเมินได้ง่ายมากในเลือดและปัสสาวะ (Hjelm et al., 1988) อย่างไรก็ตามสารโทลูอินในรูปเมแทบอลิท์สามารถเกิดขึ้นได้จากธรรมชาติ เช่น จากสารพิษต่างๆ จึงไม่เป็นดัชนีที่จำเพาะเจาะจงในการประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอิน ดังนั้นระดับสารโทลูอินทางลมหายใจออกและในเลือดจึงเป็นดัชนีที่มีความแม่นยำมากที่สุด (Foo et al., 1991) The ACGIH (1999) แนะนำให้ใช้ดัชนีในการรับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงาน คือ ระดับออร์โทครีซอล (Ortho-cresol) และระดับกรดฮิพพิวริก (Hippuric acid) ในปัสสาวะในช่วงสิ้นสุดกะการทำงาน และส่วนการเจาะเลือด ควรเจาะทันทีก่อนจะถึงกะสุดท้ายในสัปดาห์นั้นๆ อย่างไรก็ตามไม่มีดัชนีการรับสัมผัสสารโทลูอินที่เหลือนอยู่ในร่างกายภายหลังการหยุดรับสัมผัสสารโทลูอินไปแล้ว

ประการแรกที่จะกล่าวถึง คือ การประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอินในเลือด ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นว่าดัชนีชี้วัดการรับสัมผัสสารโทลูอินที่แม่นยำที่สุด คือ การหาปริมาณสารโทลูอินในเลือด มีหลายการศึกษาเกี่ยวกับการรับสัมผัสสารตัวทำละลายในเลือด เช่น การศึกษาประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอิน สารไซลีน สารเบนซีนในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ใน Karabaglar, Izmir ในการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของสารโทลูอิน สารไซลีน สารเบนซีนในเลือดของพนักงานในแผนกสีมีค่าสูงกว่าแผนกเคลือบเงา ระดับความเข้มข้นของสารโทลูอิน เบนซีนในเลือดในกลุ่มสัมผัสมีค่าสูงกว่ากลุ่มเปรียบเทียบ 6.95 เท่า และ 1.64 เท่า ตามลำดับ (Mandiracioglu A et al.; 2011)

นอกจากนั้นมีการศึกษาในกลุ่มพนักงานช่างทาสี ที่ได้รับสัมผัสสีที่มีส่วนผสมของสารโทลูอินและสารชนิดอื่น เข้าไปโดยบังเอิญขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในชั้นใต้ดิน รายที่มีอายุมากกว่าได้รับ

การรักษาอยู่ที่ตึกผู้ป่วยวิกฤตนาน 3 วัน ในวันที่ 4 ได้รับการเคลื่อนย้ายไปรักษาตัวที่ตึกผู้ป่วยทั่วไป ผลการตรวจเลือดในผู้เสียชีวิตพบว่าระดับสารโทลูอินในเลือดเท่ากับ 12.4 มก./ล. (Tsatsakis AM. et al., 1997)

ประการที่สอง คือ การประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอินในปัสสาวะ โดยการประเมินระดับเมแทบอไลต์ในปัสสาวะ ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากกว่าการเจาะเลือด เนื่องจากมีอันตรายน้อยกว่า และมีผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างระดับสารโทลูอินในพลาสมา เลือด และในปัสสาวะกับผลจากการประเมินความเข้มข้นของสารโทลูอินในบรรยากาศการทำงานแบบติดตัวบุคคล (Personal air monitors) (Kawai et al., 2008) การประเมินระดับสารโทลูอินในเลือดจะมีความไวมากกว่าการประเมินในปัสสาวะที่ความเข้มข้นต่ำๆ และมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างสูงกับระดับสารโทลูอินในลมหายใจออก ($r=0.94$) (Foo et al., 1991)

ถึงแม้ว่าการประเมินระดับสารโทลูอินในปัสสาวะในรูปกรดฮิพพิวริก กรดเมอแคปทิวริก สารอโธครีซอล และพาราครีซอล (Hippuric acid, Mercapturic acids, ortho-cresol, para-cresol) จะมีอันตรายน้อยกว่าการประเมินในเลือด แต่ระดับของสารประกอบในปัสสาวะก็ยังไม่ได้รับการพิสูจน์ว่าเป็นการรับสัมผัสที่เกิดจากสารโทลูอินเท่านั้น เนื่องจากอาจจะมาจากการย่อยสลายของอาหารก็ได้ (Hjelm et al., 1988; Maestri et al., 1997) และมีการรายงานวาระดับของสารโทลูอินในปัสสาวะเป็นดัชนีที่มีความไวมากกว่ากรดฮิพพิวริก หรือ ออร์โทครีซอล (Hippuric acid หรือ Ortho-cresol) (Kawai et al., 1996)

มีหลายการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ระหว่างสารเมแทบอไลต์ในปัสสาวะกับการรับสัมผัสสารโทลูอิน (Angerer and Kramer, 1997; Kawai et al., 1996) และมีการใช้เพื่อเป็นดัชนีการรับสัมผัสสารโทลูอินอย่างกว้างขวาง เช่น การศึกษาในพนักงานที่รับสัมผัสสารตัวทำละลายที่ผสมในกาว โดยพบค่าความเข้มข้นของสารตัวทำละลาย เท่ากับ 8.40 มก./ลบม. และความเข้มข้นกรดฮิพพิวริก เท่ากับ 1,240 มก./ก. ครีเอตินีน (Gargouri I et al.; 2011)

การศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นต่ำๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้หวั่น โดยการประเมินระดับกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะ พบค่าเฉลี่ยของกรดฮิพพิวริก เท่ากับ 0.34 ± 0.18 ก./ก. ครีเอตินีน ค่าความแตกต่างของความเข้มข้นกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะในวันจันทร์และวันศุกร์ แตกต่างกัน ($p < 0.01$) และมีค่า $OR = 4.13$, $p = 0.11$ (Shih HT et al., 2011) นอกจากนั้น Huang MY et al. (1994) ที่ศึกษาระดับความเข้มข้นของกรดฮิพพิวริกและเมทิลฮิพพิวริกในปัสสาวะในพนักงาน จำนวน 233 คน ประกอบด้วยเพศชาย 122 คน เพศหญิง 111 คน เพื่อประเมินการรับสัมผัสสารโทลูอินและสารไซลีนในช่วงสิ้นสุดกะการทำงาน ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าเข้มข้นของสารใน 8 ชั่วโมงในการทำงานกับระดับของกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะและกรดเมทิลฮิพพิวริกในปัสสาวะ

นอกจากนั้นมีการศึกษาโดยการตรวจกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะ จากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับการใช้สารทำละลายอินทรีย์ จำนวน 26 โรงงาน มีจำนวนตัวอย่างปัสสาวะ 4,934 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างปัสสาวะจากพนักงานหลังเลิกงาน ตรวจวิเคราะห์สารโทลูอินและสารไซลีน ในตัวอย่างอากาศในสิ่งแวดล้อมการทำงานจำนวน 496 ตัวอย่าง ผลการประเมินการเฝ้าคุมอันตรายทางชีวภาพจากตัวอย่างปัสสาวะ ตรวจกรดฮิพพิวริก จำนวน 2,908 ตัวอย่างมีค่าเฉลี่ย

เท่ากับ 326.08 มก./ก.ครีเอตินีนพบตัวอย่างเกินมาตรฐาน (2,500 มก./ก.ครีเอตินีน) 31 ตัวอย่างคิดเป็นจำนวนร้อยละ 1.1 (กระทรวงสาธารณสุข, 2542)

และมีการศึกษาในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตลูกบอลพลาสติก ผลการศึกษาพบว่า การตรวจหาระดับความเข้มข้นของสารกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะ มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารโทลูอินในอากาศบริเวณที่ทำงาน และพบว่าผลของการตรวจหาระดับความเข้มข้นของสารกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะของพนักงานก่อนการสัมผัสสารโทลูอินก่อนและหลังการสัมผัสสารโทลูอิน 3 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) (สมศักดิ์ ฟองสุภา, 1998)

ส่วนการศึกษาในกลุ่มพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสี ผลจากการศึกษาพบว่า พฤติกรรมในการทำงานของพนักงานโดยส่วนใหญ่ยังมีความเสี่ยงต่อการสัมผัสสารโทลูอิน ทั้งนี้เนื่องจากพนักงานมักจะใช้สารทำละลายในการล้างมือและสารทำละลายมักจะมีการหกตอใส่พนักงาน ผลการศึกษาพบว่า มี 2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับกรดฮิพพิวริกในปัสสาวะอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ ระดับสารโทลูอินในบรรยากาศการทำงาน และระดับการสัมผัสทางผิวหนัง (มานะ หะสาเมาะ, 2542)

Angerer et al. (1998) เสนอแนะว่าสามารถใช้กรด S-p-toluymercapturic acid ในปัสสาวะเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดการสัมผัสสารโทลูอินอาจจะใช้ประโยชน์เป็นดัชนีชี้วัดการสัมผัสสารโทลูอิน ส่วน Maestri et al. (1997) รายงานว่าระดับกรด S-benzylmercapturic ในปัสสาวะมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นสารโทลูอิน ($r = 0.74$) นอกจากนั้นมีการศึกษาอาจจะประเมินความแม่นยำในดัชนีการสัมผัสที่จะสามารถปรับปรุงความถูกต้องของการติดตามการสัมผัสสารโทลูอิน

ประการที่สาม คือ การประเมินการสัมผัสสารโทลูอินในรูปที่ไม่เปลี่ยนแปลง เช่น Janasil B. et al. (2010) ศึกษาเปรียบเทียบสารตัวทำละลายที่อยู่ในรูปที่ไม่เปลี่ยนแปลงของสารโทลูอิน ในปัสสาวะ (Unmetabolized toluene) เพื่อเป็นดัชนีชี้วัดการสัมผัสสารจากการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสี ผลการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของสารโทลูอินอยู่ในช่วง 0.2-4.7 มก./ลบ.ม. ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับสารโทลูอินที่พบในเลือดและปัสสาวะ ($p < 0.05$) ดังนั้นสามารถใช้ความเข้มข้นของสารตัวทำละลายในรูปที่ไม่เปลี่ยนแปลงในปัสสาวะของสารตัวทำละลายเป็นดัชนีชี้วัดสารตัวทำละลายต่างๆ เหล่านี้

นอกจากนั้นมีการศึกษาประเมินระดับความเข้มข้นของสารเอทิลเบนซีนและสารไซลีนในบรรยากาศการทำงานและประเมินดัชนีชี้วัดทางชีวภาพในปัสสาวะ คือ กรดทีที มีวโคนิก (t, t-muconic acid, t,t-MA) และสารโทลูอินในรูปที่ไม่เมแทบอลิซ์ (Unmetabolized toluene) ในพนักงานโรงงานปิโตรเคมีที่มีโอกาสสัมผัสสารไฮโดรคาร์บอนในน้ำมันดิบ ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของสารโทลูอินในอากาศมีความสัมพันธ์กับขนาดของสารในร่างกาย ($r = 0.70$, $p < 0.001$) และปัสสาวะ ($r = 0.73$, $p < 0.001$) (Hopf NB et al., 2011)

4.2 ดัชนีชี้วัดผลกระทบ (Biomarkers of effects)

แต่ที่จริงแล้วไม่มีดัชนีชี้วัดผลกระทบจากการสัมผัสสารโทลูอิน และสารไซลีนโดยตรง ส่วนใหญ่นิยมประเมินการเปลี่ยนแปลงที่สมองโดยการตรวจด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic resonance imaging; MRI) หรือเทคนิค Brainstem auditory evoked response (BAER) และประเมินความผิดปกติของระบบประสาท (Rosenberg et al., 1988) ร่วมกับประวัติในการสัมผัส

สารตัวทำลาย เพื่อประเมินระดับระบบประสาทส่วนกลางถูกทำลาย ซึ่งเคยใช้ประเมินในผู้ติดสาร
โทลูอิน แต่มักจะไม่สามารถประเมินได้ในการสัมผัสสารปริมาณน้อยๆ ดัชนีชี้วัดผลกระทบอื่นๆ
นิยมประเมินผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของภูมิคุ้มกัน ดับ ไตเพื่อระบุว่าอวัยวะถูกทำลายไปมากน้อย
เพียงใด โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 การประเมินความผิดปกติของระบบประสาท

การประเมินความผิดปกติของระบบประสาท สามารถใช้แบบสอบถาม เพื่อเป็น
เครื่องมือในการประเมินความผิดปกติของระบบประสาทดังกล่าว ซึ่งมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น Q16
เป็นแบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินความผิดปกติเบื้องต้นของแต่ละคนที่ได้รับพิษจากสารตัวทำ
ลาย ซึ่งผู้ได้รับผลกระทบควรได้รับการดูแล เพื่อลดการสัมผัส หรือ ควรกำจัดการสัมผัสสาร
ตัวทำลาย หรือ อาจได้รับการรักษาอาการพิษ หากมีความเป็นพิษสูงมาก แบบสอบถามแบบ Q16
ประกอบด้วย คำถาม จำนวน 16 อาการ ที่เลือกโดยการปรับความถูกต้อง (Validation procedure)
(Hogstedt et al., 1984) การประเมินผลการเจ็บป่วย ทำได้โดยถูกบ่งชี้เมื่อพบอาการ 4 อาการ หรือ
มากกว่าในพนักงานอายุน้อยกว่า 28 ปี หรือเมื่อพบอาการ 6 อาการ ในผู้ที่มีอายุมากกว่า 28 ปี
(Hogstedt et al., 1984)

อย่างไรก็ตามมีดัชนีบ่งชี้บางอย่างระบุว่า แบบสอบถามชนิด Q16 มีความสมบูรณ์น้อย
กว่าเครื่องมือที่ใช้ในการคัดกรอง (Lundberg et al., 1997; Smargiassi et al., 1998)
แบบสอบถาม Q16 ที่กำเนิดมาจากสวีเดน ซึ่งโดยทั่วไปจะนำมาใช้ในการศึกษาความชุกของอาการ
พิษต่อระบบประสาทในกลุ่มพนักงานที่สัมผัสสารตัวทำลาย (Lundberg et al., 1997)
แบบสอบถาม Q16 เคยถูกวิจารณ์ว่ามีความไวค่อนข้างต่ำ และความตรงที่ใช้ในการทำนาย
ค่อนข้างต่ำ เช่นเดียวกับ การทดสอบความจำ (Bast-Pettersen, 2006) ส่วนฉบับของประเทศ
เยอรมันนี้ คือ ชนิด Q18 ได้ถูกดัดแปลงนำมาใช้ ใน ค.ศ. 1980 เพื่อปรับปรุงความไวของ
แบบสอบถาม (Ihrig et al., 2001) รายละเอียดของแบบสอบถามชนิดอื่นๆ มีอีกหลายชนิด เช่น
Psychological – Neurological Questionnaire PNF (Kiesswetter et al., 1997) เป็นแบบ
ตรวจสอบอาการพิษต่อระบบประสาท (Neurotoxicity Symptom Checklist NSC-60) (Hooisma
et al., 1994; Viaene et al., 2001) และ Euroquest (EQ) (Chouanier et al., 1997)

มีผู้ศึกษาระบุว่าต้องการความถี่ของช่วงของอาการพิษต่อระบบประสาท จึงมาการพัฒนา
แบบสอบถาม EQ ใน European Neurotoxic Solvent Toxicity Euronest เพื่อปรับความถูกต้อง
ของวิธีการศึกษาความเป็นพิษต่อระบบประสาท ในหลายๆ ภาษา และวัฒนธรรม (Caiter et al.,
2002) ในต้นปี 1990 นักวิจัยชาวยุโรป และผู้เชี่ยวชาญชาวสหรัฐอเมริกาได้มีการพัฒนาแบบสอบถาม
ชนิด EQ และถูกนำมาใช้ในการคัดกรองและวินิจฉัยโรคพิษจากสารตัวทำลายตามวัตถุประสงค์
แบบสอบถามชนิด EQ ถูกออกแบบและนำมาใช้ประเมินผลกระทบของการสัมผัสตัวทำลาย
อินทรีย์ ซึ่งมีทั้งความไว (Sensitivity) และความจำเพาะ (Specificity)

การศึกษาที่ผ่านมาโดยการใช้แบบสอบถามฉบับของประเทศฝรั่งเศสและสวีเดน
(French และ Swedish EQ) ในกลุ่มประชากรที่สัมผัสสารตัวทำลาย และพบ โครงสร้างของปัจจัย
และความคงที่ เมื่อเทียบกับของเดิม (Carter et al., 2002; Chouanier et al., 2002; Deschamps
et al., 2001; Kalson et al., 2000) ปัจจุบันนี้ยังไม่มีใครระบุจุดตัดของ แบบสอบถาม EQ ซึ่งเป็นสิ่งที่

ยากมากในการใช้ข้อมูลการระบาดวิทยาเกี่ยวกับอาการพิษต่อสมอง เพื่อคัดกรองและวินิจฉัยผลกระทบที่เกิดจากสารตัวทำลายในรายบุคคล

มีการศึกษาหนึ่งที่ใช้แบบสอบถาม EQ ที่เป็นภาษาสวีเดนไปใช้ในการคัดกรองในช่วงทาสี จำนวน 500 คน พบว่ามีอาการผิดปกติต่างๆ 6 มิติ แต่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ (Ahsberg and Iregren, 2000) นอกจากนั้นมีการศึกษาในผู้ป่วยจำนวน 57 รายและกลุ่มอ้างอิง 57 คน ศึกษาเปรียบเทียบกับแบบตรวจสอบอาการ (Symptoms checklist SCL-90) และแบบสอบถามสุขภาพอื่นๆ (General Health Questionnaires GHQ-30) (Karlson et al., 2000) การศึกษาพบโครงสร้างปัจจัยคล้ายกันกับแบบสอบถาม พบว่าแบบสอบถามชนิด EQ มีความไวและความจำเพาะในการจำแนกผู้ป่วยพิษที่สมอง

มีความจำเป็นอย่างมากที่จะประเมิน CSE เพื่อเป็นการตรวจแบบคัดกรอง เช่น การใช้แบบสอบถาม เพื่อประเมินผลกระทบของสารตัวทำลายต่อสมองระยะเริ่มแรก และการประเมินการรับสัมผัส รวมทั้งการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ เช่น อาการพิษจากสารตัวทำลายต่อสมอง อาการพิษ ยังคงอยู่ถึงแม้ว่าจะหยุดรับสัมผัสสารตัวทำลายไปแล้ว (Baker, 1994; Edling et al., 1990; Nordling Nilson et al., 2007; Visser et al., 2000) ทั้งๆ ที่จะพบปัญหาในการแปลผลข้อมูลการรายงานอาการผิดปกติทางสมองจากแบบสอบถามทางระบาดวิทยา ความไวของแบบสอบถามเกี่ยวกับอาการผิดปกติทางสมองได้ถูกนำมาใช้ในการคัดกรอง หรือประเมินสิ่งไม่พึงประสงค์จากการรับสัมผัสสารตัวทำลายรายบุคคล (Willianson, 2007) ส่วนอาการที่ไม่เฉพาะเจาะจง สามารถใช้แบบสอบถามความเป็นพิษต่อระบบประสาทได้ (Friis et al., 1997; Kavkiainen et al., 2009)

4.2.2 การประเมินการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ

การประเมินการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ มีวัตถุประสงค์ของการตรวจที่แตกต่างกันไป เช่น ใช้ในการวินิจฉัยโรค การติดตามผลการรักษาทางการแพทย์และการรักษาของแพทย์ และเพื่อประเมินภาวะสุขภาพของพนักงาน ตัวอย่างส่งตรวจ (Specimen) มีหลายชนิด เช่น เลือด ปัสสาวะ อุจจาระ เป็นต้น ซึ่งเลือดเป็นตัวอย่างส่งตรวจที่มีความแน่นอนน่าเชื่อถือได้มากที่สุดในการตรวจหาสารพิษในร่างกาย เป็นการตรวจเพื่อหาปริมาณสารพิษ มีผลการศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการรับสัมผัสสารตัวทำลาย เช่น สารโทลูอิน สารไซลีนต่อการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย (El-Nabi Kamel MA, Shehata M, 2008) ระบุว่าสารตัวสารโทลูอินจะมีผลกระทบต่อโครงสร้างและสรีระของอวัยวะต่างๆ เช่น การทำหน้าที่ของเม็ดเลือด เช่น Hb, Het, Plt การทำหน้าที่ของไต เช่น BUN, Cr และระดับเอนไซม์การทำหน้าที่ของตับ เช่น Alanine aminotransferase (ALT หรือ SGPT); Aspartate aminotransferase (AST หรือ SGOT); และ Alkaline phosphatase (ALP) Bilirubin, Protein (Albumin, Globulin) โดยมีรายละเอียดดังนี้

การทำหน้าที่ของเม็ดเลือด เป็นการตรวจทางโลหิตวิทยาขั้นพื้นฐาน เรียกชื่อย่อว่า ซีบีซี (CBC, Complete Blood Count) เช่น การตรวจความเข้มข้นของเลือด (Hct) เพื่อดูภาวะโลหิตจาง การตรวจนับจำนวนเม็ดเลือดแดง (Red blood cell, RBC) จำนวนเม็ดเลือดขาว (White blood cell, WBC) เกล็ดเลือด (Platelet, PLt) และการตรวจรูปร่างลักษณะของเม็ดเลือด เป็นการตรวจเบื้องต้นเพื่อดูภาวะทั่วไปของร่างกาย เป็นต้น

ผลกระทบของการรับสัมผัสสารโหลูอินต่อการทำหน้าที่ของเม็ดเลือด ในอดีตยังไม่ค่อยมีการศึกษาผลกระทบดังกล่าวในมนุษย์และสัตว์ทดลองที่หายใจเอาสารโหลูอินเข้าสู่ร่างกาย อย่างไรก็ตาม ก่อน พ.ศ. 2493 มีรายงานการศึกษาการรับสัมผัสสารโหลูอินแบบเรื้อรังต่อการเกิดผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของเลือด (Greenburg et al., 1942) ซึ่งต่อมาพบว่า การรับสัมผัสสารตัวทำลาย โดยมีการโหลูอิน เป็นองค์ประกอบหลักว่าไม่มีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของเม็ดเลือด (Matsushita et al., 1975; Tahti et al., 1981; Ukai et al., 1993) สอดคล้องกับการศึกษาของ Chen Z et al. (1994) ศึกษาผลกระทบทางร่างกายจากการรับสัมผัสสารประกอบสารโหลูอินและสารไซลีน ในประเทศจีน จำนวน 233 คน ศึกษาเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมจำนวน 241 คน พบค่าความชุกของอาการแสดงจากการสัมผัสเพิ่มขึ้นในกลุ่มที่มีการรับสัมผัส และการผิดปกติจะคล้ายคลึงกับกลุ่มที่รับสัมผัสสารโหลูอินและสารไซลีน ส่วนทางห้องปฏิบัติการทางชีวเคมี เช่น เลือด โดยไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ เลย

นอกจากนี้ยังมีรายงานว่า การรับสัมผัสสารโหลูอินไม่มีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของเม็ดเลือดชนิดต่างๆ (Ukai et al., 1993) และไม่พบการเปลี่ยนแปลงใดๆ ในการทำหน้าที่ของเลือดที่มีการศึกษาในพนักงานทำรองเท้า (Matsushita et al., 1975) ที่รับสัมผัสสารโหลูอินระยะเวลาหลายปี ซึ่งมีหลายการศึกษาที่ขาดประวัติการรับสัมผัสสารตัวทำลาย พนักงานที่รับสัมผัสสารโหลูอินความเข้มข้น 600 ส่วนในล้านส่วน แต่ไม่มีผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ และมีข้อจำกัดในการประเมินความผิดปกติในการทำหน้าที่ของเลือดที่เกิดจากการรับสัมผัสสารโหลูอิน

ในแง่ของผลกระทบต่อเม็ดเลือดขาว มีการศึกษาระบุว่าการรับสัมผัสสารโหลูอินมีผลกระทบต่อการลดจำนวนลิวโคไซด์ (Leukocyte) ในสัตว์ทดลองบางชนิด (Hobara et al., 1984), ซึ่งผลการศึกษายังไม่ค่อยชัดเจน ซึ่งพบการเปลี่ยนแปลงของเลือดแต่อาจจะไม่ใช่เกิดจากการรับสัมผัสสารโหลูอิน ส่วนการศึกษา พบว่าไม่มีผลกระทบต่อจำนวนลิวโคไซด์ (Leukocyte) ในอาสาสมัครที่รับสัมผัสสารโหลูอิน ความเข้มข้น 800 ส่วนในล้านส่วน นาน 3 ชั่วโมง (Von Oettingen et al., 1942) มีพนักงาน จำนวน 2 คนที่ได้รับอุบัติเหตุจากสารโหลูอิน ความเข้มข้น 1,862 ส่วนในล้านส่วน นาน 3 ชั่วโมง พบว่ามีค่าการทำหน้าที่ของเลือดปกติ (Meulenbelt et al., 1990)

และมีผลการศึกษาระบุว่าการรับสัมผัสสารโหลูอินมีผลกระทบต่อจำนวนลิมโฟไซต์ เช่น การศึกษาในพนักงานทำรองเท้าและหมวกพิมพ์ จำนวน 452 คนที่รับสัมผัสสารโหลูอิน เฉลี่ย 24.7 ส่วนในล้านส่วน เปรียบเทียบกับกลุ่มเปรียบเทียบที่ไม่ได้รับสัมผัสในโรงงานเดียวกัน โดยมีส่วนผสมหลักคือ สารโหลูอินประมาณ 90% ซึ่งพบว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการทำรองเท้า อุปกรณ์เครื่องเสียง ที่รับสัมผัสสารโหลูอิน เฉลี่ย 41 ส่วนในล้านส่วน มีระดับเม็ดเลือดลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (Yin et al., 1987) อย่างไรก็ตามจำนวนลิวโคไซด์รวม ไม่มีความแตกต่างกันกับกลุ่มควบคุม เนื่องจากการลดระดับของลิมโฟไซต์ ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของอีโอซิโนฟิล (Eosinophils)

ผลจากการศึกษาในสัตว์ทดลองสนับสนุนการศึกษาที่พบการลดลงของจำนวนลิวโคไซด์ (Leukocyte) ภายหลังการรับสัมผัสสารโหลูอิน มีการศึกษาการลดลงของจำนวนลิวโคไซด์ในสุนัขแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้น 500 ส่วนในล้านส่วน (Hobara et al., 1984) ยังมีรายงานการศึกษาระบุว่าจำนวนลิวโคไซด์ ลดลงในหนูเพศเมียที่รับสัมผัสสารความเข้มข้น 1,250 ส่วนในล้านส่วนนาน 15

สัปดาห์ แต่ไม่มีผลกระทบในหนูเพศผู้ที่รับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 2,500 ส่วนในล้านส่วน (NTP, 1990)

ในทางตรงกันข้ามพนักงานที่รับสัมผัสสารโทลูอินนานหลายปี พบว่าทำให้เพิ่มจำนวนลิโคไซท์ (Tahti et al., 1981) โดยรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 20-2,000 ส่วนในล้านส่วน อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในจำนวนของกลุ่มตัวอย่างและประวัติการรับสัมผัส ซึ่งอาจจะเกิดจากการรับสัมผัสสารตัวทำลายหลายชนิด

ผลกระทบต่อเม็ดเลือดแดง พบว่าตลอดระยะเวลา 20 วันที่ศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 10, 100, และ 1,000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าจำนวน thrombocyte (Thrombocyte counts) และจำนวนเม็ดเลือดแดง (Erythrocyte) ลดลง (Horiguchi and Inoue, 1977)

ผลกระทบต่อระดับฮีมาโทคริต (Hematocrit) พบว่าระดับฮีมาโทคริต และน้ำตาลในเลือดสูงขึ้นในหนูเพศผู้ที่รับสัมผัสสารโทลูอินสูง 2,000 ส่วนในล้านส่วน 48 ชั่วโมง (Tahti et al., 1983) เยื่อบุเม็ดเลือดแดง (Erythrocyte membranes) มีความทนต่อการแตกตัวในหนูที่รับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วนเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Korpela et al., 1983)

สอดคล้องกับผลการศึกษาที่พบว่าหนูเพศผู้ที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 6 ชั่วโมงต่อวันนาน 90 วัน (Ono et al., 1996) หรือ หนูที่รับสัมผัสสาร 300 ส่วนในล้านส่วนนาน 6 ชั่วโมงต่อวัน นาน 4 สัปดาห์ (Poon et al., 1994) ในการศึกษาในหนูทดลองที่รับสัมผัสสาร ความเข้มข้น 100 หรือ 300 ส่วนในล้านส่วน พบว่ามีความสัมพันธ์กับระดับการลดลงของค่าฮีมาโทคริต (Hematocrit) (CIIT, 1980) และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ธนสร ตันตฤงฆาร และคณะ (2547) ศึกษาการรับสัมผัส และผลกระทบต่อสุขภาพในพนักงานสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 44 คน ผลทางศึกษาทางโลหิตวิทยา และเคมีเทคนิคพบว่า พนักงานมีความผิดปกติของเม็ดเลือดร้อยละ 68.2 ฮีโมโกลบิน และฮีมาโทคริตต่ำกว่าปกติร้อยละ 45.5 และ 31.8

ผลกระทบต่อเกล็ดเลือด ซึ่ง Shih HT et al. (2011) ศึกษาผลกระทบของการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นสูงกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน (TWA มากกว่า 100 ส่วนในล้านส่วน) ต่อความผิดปกติของเกล็ดเลือดในมนุษย์ ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้หวั่น โดยการประเมินระดับกรดเมทิลลิพพิวริกในปัสสาวะและประเมินความชุกของอาการผิดปกติ กลุ่มรับสัมผัสอย่างต่อเนื่องมีระดับเกล็ดเลือดต่ำกว่ากลุ่มที่รับสัมผัสบางครั้ง ($252 \pm 40 \times 10^6/\mu\text{L}$), ($p = 0.018$)

การทำหน้าที่ของไต ปกติไตมีหน้าที่กำจัดของเสียที่ร่างกายไม่ต้องการออกจากร่างกาย เช่น สารยูเรียไนโตรเจน (BUN) สารครีเอตินีน (Creatinine, Cr) และกรดยูริก (Uric acid) ถ้าพนักงานมีไตผิดปกติ การขับถ่ายสารดังกล่าวจะลดลง จะทำให้มีสารเหล่านี้ตกค้างอยู่ในเลือดปริมาณสูงขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย เช่น กรณีที่กรดยูริกในร่างกายมีปริมาณในเลือดสูงมาก จะไปสะสมอยู่ในข้อต่างๆ เช่น ที่นิ้วมือนิ้วเท้าเกิดอาการข้ออักเสบเรียกว่า “โรคเกาต์” (Gout) เป็นต้น

การศึกษาในผู้ที่ติดสารโทลูอินอย่างเรื้อรัง จากการทำงาน และศึกษาในห้องทดลอง มีหลักฐานข้อมูลการที่ไตถูกทำลายเนื่องจากการรับสัมผัสสารโทลูอิน การรับสัมผัสสารโทลูอิน ทำให้เกิดสภาวะเป็นกรด (Acidosis) การทำหน้าที่ของไตจะกลับเข้าสู่สภาวะปกติ หากหยุดการรับสัมผัสลง (Goodwin, 1988; Kamijo et al., 1998; Meulenbelt et al., 1990) พนักงานที่มีการรับสัมผัสสารโทลูอินจากการทำงานที่ความเข้มข้น 100-200 ส่วนในล้านส่วน ไม่พบความผิดปกติในการทำหน้าที่

ของไต (Askergren et al., 1998; Stengel et al., 1998) แต่จากการศึกษาในสัตว์ทดลองระบุว่า การรับสัมผัสสารโทลูอินในสัตว์ทดลอง ทำให้ไตถูกทำลาย เฉพาะการรับสัมผัสที่ความเข้มข้น 600 ส่วนในล้านส่วน นาน 6 ชั่วโมงต่อวัน (Poon et al., 1994)

มีการระบุว่าผู้ติดสารโทลูอิน อายุ 19 ปี และถูกตัดชิ้นเนื้อไปตรวจ พบว่าหน่วยไตอักเสบ ท่อไตอักเสบซึ่งบ่งบอกถึงการระคายเคืองที่ไต (Taverner et al., 1988) ส่วนผู้ป่วยที่ได้รับการล้างไต พบว่ามีเลือดออกในปัสสาวะ และปัสสาวะออกน้อยในระหว่างที่รักษาตัวในโรงพยาบาล (Hematuria และ oliguria) จากการศึกษาระบุว่าสารโทลูอินจะมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของไต ในผู้ที่รับสัมผัส สารตัวทำละลาย (Yajima Y et al., 2005) ส่วนการศึกษาในหนูทดลองที่รับสัมผัสสารโทลูอิน พบว่าทำให้เกิดพยาธิสภาพที่ไต ภายหลังการรับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 600–5,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 7 ชั่วโมงต่อวัน นาน 5 สัปดาห์ (Von Oettingen et al., 1942)

ส่วนการศึกษาของ Ono et al. (1996) พบว่าทำให้น้ำหนักไตเพิ่มขึ้นและเกิดเนื้อเยื่อที่ ท่อไตตาย ในหนูทดลองที่รับสัมผัสสารโทลูอิน ความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 90 วัน ไม่ พบความผิดปกติที่ไตในหนูทดลองที่รับสัมผัส 4,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 3 ชั่วโมงต่อวัน นาน 8 สัปดาห์ แต่พบความผิดปกติในน้ำหนักของไตในหนูแรทและไมซ์ที่รับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้น 12,000 ส่วนในล้านส่วน (Bruckner and Peterson, 1981)

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาของ สมศักดิ์ พงษ์สุภา (2541) ระบุว่าผู้สัมผัสสารโทลูอินใน พนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตลูกบอลมีค่า NAG, BUN, Creatinine ไม่แตกต่างจากกลุ่มปกติ

การทำหน้าที่ของตับ การตรวจการทำหน้าที่ของตับ โดยการตรวจหาเอนไซม์ที่เซลล์ตับ เช่น เอ เอส ที หรือ เอสจีโอที (AST หรือ SGOT) และเอแอลที หรือ เอสจีพีที (ALT หรือ SGPT) ส่วน สารที่ท่อน้ำดีสร้างขึ้นคือ สารเอแอลพี (ALP) หรือ อัลคาไลน์ฟอสฟาเทส ในภาวะที่ตับทำงานปกติจะมี AST, ALT และ ALP ในระดับต่ำมาก ถ้าตับทำงานผิดปกติ จะทำให้ AST, ALT และ ALP ในเลือดสูงขึ้น พนักงานที่มีภาวะพร่องที่ตับเพราะตับไม่สามารถทำลายและกำจัดออกเอนไซม์ดังกล่าวไปได้

ในแง่ของผลกระทบของสารโทลูอิน และสารโซลินต่อการทำหน้าที่ของอวัยวะต่างๆ มีผล การศึกษาพบว่าสารโทลูอินเข้าสู่ร่างกายมีผลกระทบต่อตับ เช่น มีการสะสมภายในตับ Tsatsakis AM et al. (1997) ระบุว่าพนักงานเป็นช่างทาสี เพศชาย จำนวน 2 ราย อายุ 18 และ 30 ปีที่ ได้รับสัมผัสที่มีส่วนผสมของสารโทลูอินและสารชนิดอื่น เข้าไปโดยบังเอิญขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในชั้นใต้ ดิน ทำให้มีผู้เสียชีวิต 1 ราย และพบระดับสารตัวทำละลายในตับ ไต ปอด สมอง อวัยวะ ซึ่งระดับความ เข้มข้นสูงสุดอยู่ที่สมองและตับ ส่วนการศึกษาการรับสัมผัสสารโซลินต่อร่างกายของหนูแรท ผลการศึกษา พบว่าสารโซลินมีผลกระทบต่อหนูแรท โดยทำให้ขนาดของตับหนูแรทลดลง (Kum et al., 2007)

นอกจากนั้นมีการศึกษาที่พบว่าขนาดของตับใหญ่ขึ้นในหนูที่รับสัมผัสสารโทลูอินความ เข้มข้น 150 ส่วนในล้านส่วน นาน 30 วัน ถึง 4,000 ส่วนในล้านส่วน 3 ชั่วโมงต่อวัน นาน 8 สัปดาห์ (Bruckner and Peterson, 1981; NTP, 1990) แต่การศึกษาอื่นๆ ระบุว่าไม่มีผลกระทบในหนู ทดลองที่รับสัมผัสที่ความเข้มข้น 1,200 ส่วนในล้านส่วน นาน 2 ปี (Kyrklund et al., 1987)

ผลการศึกษาในมนุษย์ระบุว่าสารโทลูอินมีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของ ตับ เช่น มีการศึกษาในโรงพิมพ์ที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นเฉลี่ยใน 8 ชั่วโมงในการทำงาน เท่ากับ 11–47 ส่วนในล้านส่วน (ค่ากลาง เท่ากับ 29 ส่วนในล้านส่วน) นาน 3–39 ปี พบว่าระดับ

เอนไซม์ Serum alkaline phosphatase สูงกว่าในกลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Svensson et al., 1992b) และมีการศึกษาในพิมพ์ ซึ่งพนักงานเพศชาย จำนวน 8 คน จาก 289 คน ที่รับสัมผัสสารโทลูอินที่ความเข้มข้นต่ำกว่า 200 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งพบว่าค่าที่สูงกว่าค่าปกติ คือ Bilirubin, Alanine aminotransferase (ALT), Aspartate aminotransferase (AST) และ Alkaline phosphatase (AP) และมีค่าอัตราส่วน ALT/AST มากกว่า 1 (Guzelian et al., 1988)

ส่วนผลการผ่าศพพิสูจน์ระดับพบว่าเซลล์ตับโต ไม่มีเพศชายคนใดที่ได้รับรายงานว่าการดื่มสุรามีระดับต่างๆ ที่กล่าวมาสูงกว่าค่าปกติ แต่เขาอาจจะมีอาการรับสัมผัสสารเคมีบางชนิดจากการทำงาน เช่น Methyl alcohol, Ethyl alcohol, Diethyl ether, Trichloroethylene และ lacquer thinners ซึ่งอาจจะเป็นข้อผิดพลาดในการศึกษาได้ส่วนการศึกษาในโรงงานผลิตเครื่องบิน ในกลุ่มพนักงานช่างสี จำนวน 106 คน ที่รับสัมผัสสารโทลูอิน พบว่ามีพนักงานว่ามีอาการตับโต 30.2% ของพนักงานเพศชาย เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม 7% (Greenburg et al., 1942)

การศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินในผู้ติดสารโทลูอิน หรือ จากการประกอบอาชีพ พบหลักฐานเล็กน้อยว่ามีความสัมพันธ์ต่อการทำลายตับภายหลังการหายใจเข้าสู่ร่างกาย บางการศึกษาที่มีการรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นประมาณ 30 และ 350 ส่วนในล้านส่วน พบว่ามีผลกระทบต่อตับ เช่น ระดับเอนไซม์การทำหน้าที่ของตับสูงขึ้น (Guzelian et al., 1988; Svensson et al., 1992) แต่บางการศึกษาระบุว่าไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อตับเลย (Lundberg and Hakansson, 1985; Ukai et al., 1993)

การศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงานทำรองเท้าและช่างพิมพ์ จำนวน 452 คน พบว่าไม่มีความแตกต่างจากกลุ่ม (Ukai et al., 1993) ผู้หญิงที่ทำงานในโรงงานผลิตรองเท้ามากกว่า 3 ปีและรับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 65 ส่วนในล้านส่วน (15-100 ส่วนในล้านส่วน) ในฤดูหนาว และพบว่าความเข้มข้น 100 ส่วนในล้านส่วน (10-200 ส่วนในล้านส่วน) ในฤดูร้อน พบว่าไม่มีความแตกต่างในระดับที่บ่งบอกถึงตับถูกทำลาย เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุมในโรงงานเดียวกัน (Matsushita et al., 1975)

การรับสัมผัสสารโทลูอินอย่างเฉียบพลันจะทำให้มีการเปลี่ยนทางชีวเคมีและโครงสร้างตับในสัตว์ทดลอง เช่น หนูเม้าส์ แรท กระต่ายที่ความเข้มข้น 795 ส่วนในล้านส่วน นาน 7 วัน จะมีการเพิ่มน้ำหนักของตับ และระดับ Cytochrome P450 เมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม (Ungvary et al., 1982) นอกจากนั้นมีการศึกษาในหนูแรทเพศผู้ที่ได้รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านส่วน นาน 48 ชั่วโมง พบว่ามีการเพิ่มระดับของเอนไซม์ Alanine aminotransferase และ Aspartate aminotransferase (Tahti et al., 1983) และมีการศึกษาระบุว่าระดับ Alkaline phosphatase activity สูงขึ้นในหนูเพศผู้ที่ได้รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วน นาน 6 ชั่วโมงต่อวัน 5 วันต่อสัปดาห์ นาน 4 สัปดาห์ (Poon et al., 1994)

อย่างไรก็ตามมีหลายการศึกษาที่พบว่าการรับสัมผัสสารโทลูอินไม่มีผลกระทบต่อการทำหน้าที่ของตับ เช่น ผลการศึกษาของ Tas U et al. (2011) ที่ศึกษาผลกระทบของสารโทลูอินที่รับเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจต่อตับในหนูทดลอง มีการประเมินระดับการทำหน้าที่ของตับ Serum aspartate aminotransferase (AST), Alanine aminotransferase (ALT), Alkaline phosphatase (ALP), Total bilirubin และระดับ Albumin ผลการศึกษาระบุว่าการหายใจเอาสารโทลูอินเข้าไปมี

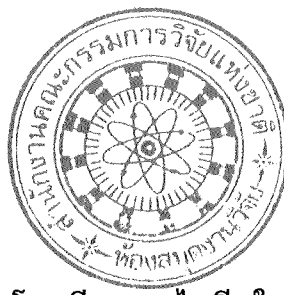
ความสัมพันธ์กับลดระดับเอนไซม์ภายในตับ คือ ALT, AST และระดับอัลบูมินในเลือด แต่ไม่มีผลกระทบต่อระดับเอนไซม์ ALP และระดับ Total bilirubin

นอกจากนี้ยังมีผลการศึกษาระบุว่าการรับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์ไม่มีผลกระทบต่อระดับบิลิรูบิน ระดับเอนไซม์การทำหน้าที่ของตับ เช่น Alkaline phosphatase activity, Serum aspartate aminotransferase หรือ Serum alanine aminotransferase activity ในเลือด ภายหลังการเกิดอุบัติเหตุในพนักงาน 2 คน ที่รับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์ที่ความเข้มข้น 1,862 ส่วนในล้านส่วนนาน 3 ชั่วโมง (Meulenbelt et al., 1990) สอดคล้องกับการศึกษาของสมศักดิ์ พงษ์สุภา (2541) มีการศึกษาตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับผู้สัมผัสสารโพลีอินทรีย์ในพนักงานในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตลูกบอล การตรวจวัดตัวบ่งชี้ทางชีวเคมี พบว่าค่า AST, ALT, Alkaline phosphatase ไม่มีความแตกต่างจากกลุ่มปกติ

ส่วนการศึกษาของธนสร ตันตฤงฆาร และคณะ (2547) ที่ศึกษาการรับสัมผัสและผลกระทบต่อสุขภาพในพนักงานสถานบริการน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 44 คน การศึกษานี้เป็นแบบเชิงสำรวจภาคตัดขวาง ประกอบด้วยการสัมภาษณ์ การวัดระดับ BTEX และ MTBE ในเลือด การตรวจการทำงานของตับ (บิลิรูบิน อัลคาไลน์ ฟอสฟาเทส : ALP, ทรานอะมีเนส : SGOT, ทรานเพอเรส : SGPT) ผลทางศึกษาทางโลหิตวิทยา และเคมีเทคนิคพบว่า พนักงานมีความผิดปกติของระดับ SGOT SGPT และ ALP สูงกว่าปกติร้อยละ 9.1 15.9 และ 38.6 ตามลำดับ การศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับผลกระทบของสุขภาพของพนักงาน

ส่วนผลกระทบของสารโพลีอินทรีย์ต่อระดับ Lactate-dehydrogenase (LDH) พบว่ากลุ่มพนักงานทำรองเท้าพลาสติก จำนวน 157 คนที่รับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์นาน 2-14 เดือน (7-324 ส่วนในล้านส่วน) มีระดับ Lactate-dehydrogenase (LDH) ต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม แต่มีจำนวน 8 รายที่พบว่ามีระดับเอนไซม์การทำหน้าที่ของตับปกติ (Seiji et al. 1987) พนักงานเหล่านี้มีการรับสัมผัสสารเคมีชนิดอื่นด้วย เช่น เฮกเซน (n-hexane) ไสโคลเฮกเซน (Cyclohexane) และเมทิลเอทิล คีโตน (Methyl ethyl ketone) ที่ความเข้มข้น 1/10th ของความเข้มข้นของสารโพลีอินทรีย์

กรณีการเกิดการสะสมของไขมันภายในตับ มีการศึกษาที่รายงานผลกระทบจากการรับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์ต่อตับ เคยพบการเกิดไขมันในตับอย่างเฉียบพลันในพนักงานพลาสติกที่รับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์ผสมในกาวยางน้อย 2 เดือน หลังจากนั้นมีการตัดชิ้นเนื้อไปตรวจพบว่ามีไขมันผิดปกติที่เซลล์ตับ อย่างไรก็ตามไม่พบความผิดปกติทางชีวเคมีและอาการผิดปกติภายหลังจากนั้นนาน 1 เดือน (Paraf et al., 1993) เคยมีรายงานระบุว่าช่างสีที่รับสัมผัสสารโพลีอินทรีย์นาน 5 ปี มีอาการตับเป็นพิษ มีไขมันสะสมในตับ และมีลิพิดโฟสเฟตแทรกอยู่ในเนื้อตับ (Shiomi et al., 1993)



5. ปัจจัย ที่มีผลต่อการรับสัมผัสสารโทลูอิน สารไซลีนในร่างกายและผลกระทบต่อสุขภาพ

พนักงานแต่ละคนจะมีโอกาสได้รับอันตรายจากสารโทลูอิน และสารไซลีนแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

ความเข้มข้นของสารตัวทำละลาย การได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายโดยทางใดก็ตาม เมื่อได้รับสารเคมีในปริมาณน้อยจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยได้น้อยกว่าการได้รับปริมาณมาก หากจำแนกความเป็นพิษของสารโทลูอินในมนุษย์ตามความเข้มข้นระดับต่างๆ พบว่า หากรับสัมผัสที่ความเข้มข้น 50-100 ส่วนในล้านส่วน จะไม่พบอาการผิดปกติใดๆ เลย หากรับสัมผัสที่ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน นาน 8 ชั่วโมง อาจมีอาการผิดปกติเล็กน้อย เช่น อ่อนเพลีย เหนื่อย สับสน ชา กระวนกระวาย หากรับ สัมผัสที่ความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วน จะมีอาการผิดปกติมากยิ่งขึ้น หากรับสัมผัสที่ความเข้มข้น 600 ส่วนในล้านส่วน นาน 3 ชั่วโมง จะเกิดอาการมึนงง ปวดศีรษะ วิงเวียนศีรษะ บางรายอาจจะหมดสติได้ หากรับสัมผัสที่ความเข้มข้นมากกว่า 800 ส่วนในล้านส่วน อาจมีอาการโลหิตจางและตับโต (ดวงเดือน ยิ้มรุ่งเรือง, 2551)

ระยะเวลา การรับสัมผัสสารโทลูอิน สารไซลีนระยะเวลานานๆ จะทำให้สารเคมีมีโอกาสสะสมในร่างกายได้มากตามไปด้วย อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Gericke C et al. (2001) ระบุว่าระยะเวลาในการรับสัมผัสสารโทลูอินในพนักงานทำหมึกพิมพ์และผู้ช่วยไม่มีความสัมพันธ์กับระดับเอนไซม์ในการทำหน้าที่ของตับ เช่น GOT (Glutamic oxaloacetic transaminase) หรือ GPT (Glutamic Pyruvic Transaminase) ในการศึกษาเดียวกันนี้ ระบุว่าระยะเวลาในการรับสัมผัสสารโทลูอินและค่าครีเอตินีนในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กัน และ Jo WK and Kim SH. (2001) ศึกษาการรับสัมผัสสารตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนในโกดังเก็บน้ำยาซักแห้งที่พนักงานมีโอกาสรับสัมผัสกับสารตัวทำละลายหลายชนิด เช่น เบนซีน และสารโทลูอิน เมื่อประเมินความเข้มข้นของสารเบนซีนและสารโทลูอินก่อนและหลังทำงานทันทีพบว่าไม่มีความแตกต่างกัน นอกจากนั้น Gericke C et al. (2001) ระบุว่าระยะเวลาในการรับสัมผัสสารโทลูอินและค่าครีเอตินีนในเลือดไม่มีความสัมพันธ์กัน

ระดับของสารเมแทบอลิท์ ในช่วงเวลาภายหลังการรับสัมผัส จะมีระดับเมแทบอลิท์แตกต่างกัน จากผลการศึกษาของนลินี ศรีพวง (2540) จากผลการวิเคราะห์การเก็บตัวอย่างปัสสาวะของพนักงาน ในช่วงเวลาต่างๆ กันนั้น ผลการศึกษาพบว่าระดับกรดฮิฟพิวริกในปัสสาวะของพนักงานจากการเก็บตัวอย่าง ทุก 4 ชั่วโมง พบว่าระดับความเข้มข้นของสารเมแทบอลิท์ของสารเคมีทั้งสามช่วงเวลานั้น มีแนวโน้มลดลงในช่วง 4 ชั่วโมงแรก จากนั้นใน 4 ชั่วโมงถัดมา ปรากฏว่า ระดับความเข้มข้นของกรดฮิฟพิวริก กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และใน 4 ชั่วโมงสุดท้ายนั้น ระดับความเข้มข้นของกรดฮิฟพิวริก มีแนวโน้มลดน้อยลง อย่างไรก็ตาม ในชั่วโมงที่ 8 ของการทำงาน พบว่า ในปัสสาวะของพนักงานหญิง มีปริมาณความเข้มข้นของกรดฮิฟพิวริกมากขึ้น

และพบว่าค่าความเข้มข้นของสารเมแทบอลิท์ในปัสสาวะของพนักงานสายการผลิตอื่น นอกเหนือจากพนักงานในห้องปฏิบัติการนั้น ก่อนเข้ากะของการทำงาน และภายหลังเลิกกะของการทำงาน พบว่า ระดับความเข้มข้นของกรดฮิฟพิวริก ในปัสสาวะ ภายหลังการเข้ากะทำงานของการทำงาน สูงกว่าก่อนกะของการทำงาน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (นลินี ศรีพวง, 2540)

เพศ เพศหญิงจะมีโอกาสได้รับอันตรายจากสารเคมีได้มากกว่าเพศชายในสภาวะอื่นๆ ใกล้เคียงกัน ยังมีรายงานการศึกษาระบุว่าจำนวนลิวโคไซต์ (Leukocyte) ลดลงในหนูเพศเมียที่รับสัมผัสสารความเข้มข้น 1,250 ส่วนในล้านส่วนนาน 15 สัปดาห์ แต่ไม่มีผลกระทบในหนูเพศผู้ที่รับสัมผัสสารที่ความเข้มข้น 2,500 ส่วนในล้านส่วน (NTP, 1990)

อายุ พนักงานที่ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับสารโกลูอิน และสารไซลีนมีหลายกลุ่มอายุ ซึ่งอายุอาจเป็นปัจจัยหนึ่งต่อการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ จากการศึกษาของ Gericke C et al. (2001) ระบุว่าอายุในการรับสัมผัสสารโกลูอินในพนักงานทำหมึกพิมพ์ และผู้ช่วยไม่มีความสัมพันธ์กับระดับเอนไซม์ในการทำหน้าที่ของตับ เช่น GOT (Glutamic oxaloacetic transaminase) หรือ GPT (Glutamic Pyruvic Transaminase)

ความต้านทานส่วนบุคคล มนุษย์แต่ละบุคคลมีภูมิคุ้มกันที่แตกต่างกัน ดังนั้นอาจจะมีผลต่อการได้รับผลกระทบจากสารเคมี มีผลการศึกษาของ Tsatsakis AM et al. (1997) ซึ่งรายงานการศึกษาในพนักงานช่างทาสี เพศชาย จำนวน 2 ราย อายุ 18 และ 30 ปีที่ได้รับสัมผัสสีที่มีสารโกลูอินและอื่นๆ เป็นประจำจนเกิดเจ็บป่วย ในเหตุการณ์ครั้งนี้พบว่าพนักงานที่มีอายุน้อยกว่าเสียชีวิต จากผลการศึกษาชี้แนะว่าการรอดชีวิตอาจมาจากความต้านทานส่วนบุคคล เนื่องจากทั้งสองรายมีน้ำหนักใกล้เคียงกัน และมีการศึกษาระบุว่าระดับพื้นฐานของสารเมแทบอลิทิกในปัสสาวะมีผลกระทบจากความแตกต่างของแต่ละบุคคล (Lof et al., 1993)

การดื่มสุรา การดื่มสุราจะรบกวนการย่อยสลายสารตัวทำลาย และมีผลต่อระดับสารในรูปเมแทบอลิทิกในปัสสาวะได้ มีการศึกษาระบุว่าระดับพื้นฐานของสารเมแทบอลิทิกในปัสสาวะมีผลกระทบจากความแตกต่างของการดื่มสุรา และอื่นๆ (Lof et al., 1993) ความแตกต่างของเชื้อชาติ (Inoue et al., 1986; Maestri et al., 1997) ตัวอย่างเช่น การศึกษาของ Huang MY, et al. (1994) ที่ศึกษาระดับความเข้มข้นของกรดฮิพิวริก และกรดเมทิลฮิพิวริกในปัสสาวะในพนักงานจำนวน 233 คน ประกอบด้วยเพศชาย 122 คน เพศหญิง 111 คน พบว่าอัตราการย่อยสลายของสารโกลูอิน และสารไซลีนจะลดลงในกลุ่มที่ดื่มสุรา นอกจากนั้นผลการศึกษาพบว่าปริมาณมากจะมีผลกระทบต่อร่างกายได้ (Friis et al., 1997; Kavkiainen et al., 2009)

การสูบบุหรี่ การสูบบุหรี่อาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ร่างกายมีการรับสัมผัสสารตัวทำลายเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น และมีการศึกษาระบุว่าระดับพื้นฐานของสารเมแทบอลิทิกในปัสสาวะมีผลกระทบจากความแตกต่างของแต่ละบุคคล เช่น การสูบบุหรี่ (Lof et al., 1993; Maestri et al., 1997) ส่วน Chambers DM et al. (2011) ระบุว่า การสูบบุหรี่เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของการรับสัมผัสสารเบนซิน สไตรีน สารโกลูอินและสารไซลีนในชาวสหรัฐอเมริกา ดังนั้นควรประเมินสภาวะการสูบบุหรี่และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดสารเคมี เช่น ระยะเวลา ความถี่ในการสูบบุหรี่ เพื่อประเมินการรับสัมผัสสารกลุ่มเบนซิน สารโกลูอิน เอทิลเบนซิน และสารไซลีน มีการศึกษาประเมินการรับสัมผัสสารโกลูอิน สารไซลีนในสถานประกอบการหลายประเภท เช่น การประเมินการรับสัมผัสสารโกลูอิน สารไซลีน เบนซิน ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตเฟอร์นิเจอร์ใน Karabaglar, Izmir ในการศึกษาพบว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน และสูบบุหรี่ มีระดับการรับสัมผัสสารโกลูอิน และสารเบนซินในเลือดสูงกว่ากลุ่มที่ปฏิบัติงานน้อยกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน (Mandiracioglu A et al., 2011)

การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล การใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อป้องกันการรับสัมผัสสารตัวทำลายในการทำงาน ซึ่งอาจจะรับสัมผัสทางการหายใจ ผิวหนังขณะปฏิบัติงานได้ ซึ่งผู้ที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลขณะปฏิบัติงานจะมีโอกาสรับสัมผัสสารเคมีน้อยกว่าผู้ไม่สวมใส่ ยกตัวอย่างเช่น จากผลการศึกษาการรับสัมผัสสารไซลีนภายนอกหน้ากาก และภายนอกหน้ากากเท่ากับ 52.6 ± 63.7 ส่วนในล้านส่วน และภายในหน้ากาก เท่ากับ 2.09 ± 2.74 ส่วนในล้านส่วน โดยเฉลี่ยพนักงานที่สวมใส่หน้ากากสามารถลดการรับสัมผัสสารไซลีนได้ 96% (Chang FK et al., 2007) นอกจากนี้ Chang FK et al. (2007) ได้ศึกษาในช่างพ่นสี จำนวน 15 คนนาน 2 สัปดาห์ มีการประเมินระดับกรดเมทิลอีพิพิวริกในปัสสาวะในสัปดาห์แรก พบว่ามีค่าเท่ากับ 2.66 (0.68) มก.ก. ครีเอตินีน และสัปดาห์ที่ 2 เท่ากับ 1.76 (0.35) มก.ก. ครีเอตินีน และพบว่าในกลุ่มที่สวมใส่ชุดป้องกันและถุงมือมีระดับของกรดเมทิลอีพิพิวริคลดลงกว่าในสัปดาห์แรก ($p < 0.001$, $p = 0.011$) ค่าเฉลี่ยของกรดเมทิลอีพิพิวริกที่ลดลงเท่ากับ 49%

นอกจากนั้น Ogata et al. (1999) ได้ศึกษาระดับสารโทลูอินทางลมหายใจออก เลือดและปัสสาวะ และหากรดอีพิพิวริก และสารโอครีซอลในปัสสาวะในพนักงานที่สวมใส่อุปกรณ์ป้องกัน ซึ่งมีกลุ่มที่ไม่สวมอุปกรณ์ป้องกันเป็นกลุ่มเปรียบเทียบ ผลการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของสารโทลูอินในผู้สวมใส่หน้ากากจะมีระดับดัชนีชี้วัดการรับสัมผัสสารโทลูอินน้อยกว่ากลุ่มเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารโทลูอินในลมหายใจออก เลือด ปัสสาวะ และกรดอีพิพิวริก และสารโอครีซอลในปัสสาวะ เนื่องจากการรับสัมผัสสารโทลูอินส่วนใหญ่จะรับสัมผัสความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ ดังนั้นพนักงานมักจะสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลเฉพาะช่วงที่รับสัมผัสสารโทลูอินความเข้มข้นสูงๆ เท่านั้น

การควบคุมสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ถ้าระบบการควบคุมสิ่งแวดล้อมในการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมไม่เหมาะสม จะทำให้สารเคมีแพร่กระจายสู่บรรยากาศในการทำงาน พนักงานอาจจะได้รับสัมผัสสารเคมีและถูกสะสมในร่างกายจนทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยตามมาได้ ซึ่งมีการศึกษาประเมินระดับสารโทลูอินในสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน แต่พบว่าระดับกรดอีพิพิวริกในปัสสาวะไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามควรหลีกเลี่ยงไม่ปฏิบัติงานในพื้นที่อับอากาศ เพราะจะทำให้พนักงานรับสัมผัสสารตัวทำลายเข้าสู่ร่างกายได้ มีผู้ศึกษาได้เขียนเป็นสมการในการทำนายระดับกรดอีพิพิวริกในปัสสาวะได้ ดังนี้ ; $y = 0.298 + 0.01689 (\text{สารโทลูอินในสิ่งแวดล้อม}) + 0.08568 (\text{การสัมผัสทางผิวหนัง})$ สมการนี้สามารถทำนายระดับกรดอีพิพิวริกในปัสสาวะได้ 68.6% (มานะ หะสาเมะ, 2542)

นอกจากนี้มีการศึกษาการรับสัมผัสสารโทลูอินจากการทำงานในสถานที่อับอากาศ คือ ชั้นใต้ดิน ซึ่งรายงานกรณีศึกษาในช่างทาสี เพศชาย จำนวน 2 ราย อายุ 18 และ 30 ปีตามลำดับที่ได้รับสัมผัสที่มีส่วนผสมของสารโทลูอินและสารชนิดอื่น เช่น สารอะซิโตน สารเมทิลเอทิลคีโตน เข้าไปโดยบังเอิญขณะที่ปฏิบัติงานอยู่ในชั้นใต้ดิน เพื่อนร่วมงานสังเกตว่าไม่มีการตอบสนองของร่างกายจึงรีบนำส่งโรงพยาบาล ในที่สุดพนักงานที่มีอายุน้อยกว่าเสียชีวิต จากการศึกษาครั้งนี้ควรจะตระหนักถึงการควรหลีกเลี่ยงการปฏิบัติงานในสถานที่อับอากาศ (Tsatsakis AM et al., 1997)

6. ค่ามาตรฐานของสารโพลีอินและสารไซลีนในบรรยากาศการทำงาน

ตารางที่ 2-1 ค่ามาตรฐานความเข้มข้นของสารโพลีอินและสารไซลีนในบรรยากาศ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่างๆ

ประเภท ของสาร	ค่ามาตรฐานความปลอดภัยในบรรยากาศการทำงาน			
	ประกาศ กระทรวงมหาดไทย	สมาคมสุข ศาสตร์ แห่ง สหรัฐอเมริกา (ACGIH, TLV-TWA, 2008)	สำนักงาน บริหาร ความ ปลอดภัย และอาชีว อนามัย (OSHA, PEL-TWA)	สถาบันความ ปลอดภัยและ อนามัยในการ ทำงาน แห่งชาติ สหรัฐอเมริกา (NIOSH)
สาร โพลีอิน	-เฉลี่ยตลอด ระยะเวลาที่ทำงาน 200 ส่วนในล้าน ส่วน -ความเข้มข้นสูงสุด ใน10 นาที ไม่เกิน 500 ส่วนในล้าน ส่วน -ความเข้มข้นสูงสุด 300 ส่วนในล้าน ส่วน	20 ส่วนใน ล้านส่วน	-เฉลี่ย ตลอด ระยะเวลาที่ ทำงาน 200 ส่วน ในล้านส่วน -ความ เข้มข้น สูงสุดใน ช่วงเวลา จำกัด (STEL) 300 ส่วน ในล้านส่วน	100 ส่วนใน ล้านส่วน
สารไซลีน	100 ส่วนในล้าน ส่วน	TLV-TWA 100 ส่วนใน ล้านส่วน TLV-STEL 150 ส่วนใน ล้านส่วน	100 ส่วน ในล้านส่วน	ส่วนในล้าน ส่วน

ค่ามาตรฐานทางชีวเคมีของระดับเอนไซม์การทำหน้าที่ของตับ คือ SGPT, SGOT, Total bilirubin, Direct bilirubin, Albumin, globulin) การทำหน้าที่ของไต คือ BUN, Cr และเม็ดเลือดมีดังนี้

ตารางที่ 2-2 ค่ามาตรฐานทางชีวเคมี

การทดสอบ	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
การทำหน้าที่ของตับ		
SGOT	0-41	IU/L
SGPT	0-40	IU/L
Total bilirubin	Up to 1.2	mg/dl
Direct bilirubin	Up to 0.4	mg/dl
Albumin	3.5-5.6	mg/dl
การทำหน้าที่ของไต		
BUN	5-20	mg/dl
Cr	Female 0.5	mg/dl
	Male 0.7	mg/dl
การทำหน้าที่ของเม็ดเลือด		
WBC(White blood cell) Count	4,500-10,600	cell / μ L
RBC(Red blood cell) Count	F : 4.2-5.2,	$\times 10^{12}$ cell / L
	M : 4.5-6.0	
HGB (hemoglobin)	F : 12.0-15.8,	g/dl
	M : 12.9-17.5	
HCT (hematocrit)	F : 35.2-46.4,	%
	M : 38.2-51.2	
MCV (mean corpuscular volume)	F : 82.2-99.5,	fl
	M : 80.0-94.5	
MCH (mean corpuscular hemoglobin)	26.5-31.2	pg
MCHC (mean corpuscular hemoglobin conc.)	31.8-36.4	g/dl
Platelet Count	140,000-400,000	cell / μ L
Platelet smear	adequate (11-25/ opf)	grading
RDW (red cell distribution width)	11.1-15.5	N/A
PCT	0.08-1.00	%

ตารางที่ 2-2 ค่ามาตรฐานทางชีวเคมี (ต่อ)

การทดสอบ	ค่ามาตรฐาน	หน่วย
MPV (mean platelet volume)	6.80-10.0	fl
PDW (platelet distribution width)	10.0-15.0	N/A
WBC differential percentage by [] Automatic Analyzer [√] Slide method		
LYM (Lymphocyte)	18.3-49.0	%
MONO (Monocyte)	0.0-8.7	%
การทำหน้าที่ของเม็ดเลือด		
NEU (Neutrophil)	39.6-71.6	%
EOS (Eosinophil)	0.0-7.8	%
BASO (Basophil)	0.0-1.8	%
ATYP LYM (Atypical lymphocyte)	0.0-5.7	%
Band form of neutrophil	0-2	%