การปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในสถานที่ทำงาน

ชีวรัตน์ ปราสาร[*] *จารุพงษ์ พรหมวิทักษ์*[**]

บทคัดย่อ

ในการกำหนดค่ามาตรฐานการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพขององค์กรต่าง ๆ นั้น มักจะกำหนดระยะเวลาการสัมผัสไว้ที่ 8 ชม./วัน, 5 วัน/สัปดาห์ หรือ 40 ชม./สัปดาห์ โดยไม่เกิดผลกระทบใด ๆ ต่อสุขภาพ จึงเป็นปัญหาในกรณีที่ระยะเวลาการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพไม่เป็นไปตามที่กำหนด วัตถุประสงค์การค้นคว้าทางวิชาการนี้เพื่อศึกษาแนวทางที่ใช้ปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในกรณีที่ระยะเวลาการสัมผัสหรือระยะเวลาการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนดไว้ข้างต้น ผลการศึกษาจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ในหลายประเทศมีการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางกายภาพได้แก่ เสียงดัง และความร้อน ส่วนการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีนั้นไม่แนะนำให้ปรับค่าระดับการสัมผัส เนื่องจากสารเคมีเปลี่ยนแปลงตามเภสัชจลนศาสตร์และค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพที่ต่างกันของสารแต่ละชนิด ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้ถือเป็นข้อจำกัดในการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่

คำสำคัญ: การปรับค่าระดับการสัมผัส, สิ่งคุกคามทางสุขภาพ, สถานที่ทำงาน

วารสารสาธารณสุขศาสตร์ 2560; 47(1): 79-90

[*] กลุ่มศูนย์การแพทย์เฉพาะทางด้านอาชีวเวชศาสตร์และเวชศาสตร์สิ่งแวดล้อม โรงพยาบาลนพรัตนราชธานี กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข

[**] งานอาชีวเวชกรรม ฝ่ายผู้ป่วยนอกและอุบัติเหตุฉุกเฉิน โรงพยาบาลสมเด็จพระบรมราชเทวี ณ ศรีราชา สภากาชาดไทย

การปฏิบัติงานของพนักงานในภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มักจะมีการทำงานล่วงเวลา ขณะที่องค์กรหรือหน่วยงานต่าง ๆ ซึ่งประกาศกฎหมายหรือออกแนวทางกำหนดค่ามาตรฐานระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในสถานที่ทำงาน (Occupational Exposure Limits, OELs) กำหนดระยะเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพไว้ที่ 8 ชม./วัน, 5 วัน/สัปดาห์ หรือ 40 ชม./สัปดาห์ โดยไม่เกิดผลกระทบใดๆต่อสุขภาพ ซึ่งค่ามาตรฐานนี้องค์กรต่างๆ อาจมีชื่อเรียกแตกต่างกัน[1] เช่น องค์กรกำหนดกฎหมายด้านความปลอดภัยและอาชีวอนามัยของผู้ใช้แรงงาน (Occupational Safety and Health Administration, OSHA) ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออกกฎหมายกำหนดค่าขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในสถานที่ทำงาน (Permissible Exposure Limits, PELs)[2] องค์กรนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาครัฐแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH) ได้กำหนดค่าขีดจำกัดการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพได้ในสถานที่ทำงาน (Threshold Limit Values, TLVs)[3] สถาบันความปลอดภัยและอาชีวอนามัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (The National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) ได้เสนอแนวทางการกำหนดค่าขีดจำกัดระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในสถานที่ทำงาน (Recommended Exposure Limits, RELs) เป็นต้น[4] ซึ่งค่าเหล่านี้มีข้อจำกัดคือ ต้องใช้กับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในระยะเวลาการทำงานเป็นตามที่กำหนด จึงทำให้เกิดปัญหากรณีพนักงานต้องทำงานระยะเวลามากกว่าที่กำหนด หากใช้ค่ามาตรฐานเดิมอาจทำให้พนักงานได้รับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพเข้าสู่ร่างกายมากขึ้นตามระยะเวลาการทำงาน หรือบางสถานประกอบการเข้าใจว่า หากระยะเวลาการทำงานน้อยกว่าที่กำหนดจะสามารถเพิ่มปริมาณสิ่งคุกคามทางสุขภาพในการทำงานได้ ดังนั้นการค้นคว้าทางวิชาการครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางต่าง ๆ ที่ใช้ปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในกรณีที่พนักงานมีระยะเวลาการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพหรือระยะเวลาการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนด ซึ่งในที่นี้จะศึกษาเฉพาะการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี สิ่งคุกคามทางกายภาพ ได้แก่ เสียงดัง และความร้อนในสถานที่ทำงาน

1. การปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงาน

1.1 หลักเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี

ถ้าเป็นการทำงานที่มีระยะเวลาการทำงานแต่ละกะไม่เป็นไปตามที่กำหนด เช่น ระยะเวลาการทำงานแต่ละกะมากหรือน้อยกว่า 8 ชม./สัปดาห์, ทำงาน 3 วัน/สัปดาห์ เป็นต้น มีเพียงบางองค์กรเท่านั้นที่ได้ศึกษาและแนะนำไว้ กรณีที่ควรปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีดังนี้[5-12]

1) มีตารางการทำงานหรือระยะเวลาการทำงานแต่ละกะไม่เป็นตามที่กำหนด

2) มีตารางการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนดและมีระยะเวลาการทำงานเป็นลักษณะเดียวกันต่อเนื่องอย่างน้อย 28 วัน เช่น ทำงาน 10 ชม./วัน 3 วัน/สัปดาห์ พักการทำงาน 4 วันในแต่ละรอบกะการทำงาน และไม่มีการเปลี่ยนแปลงทุกสามเดือน เป็นต้น[8, 11]

3) มีตารางการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนดแต่มีรอบการทำงานลักษณะเดียวกันแบบต่อเนื่อง ระยะเวลาการทำงานต่อสัปดาห์ควรมีการปรับให้

เหมาะสมตามแต่ละรอบกะการทำงาน เช่น ทำงาน 12 ชม./วัน ทำงาน 7 วันและพัก 7 วัน ดังนั้น พนักงานที่ปฏิบัติงานกะนี้จะทำงาน 84 ชม.ในรอบการทำงาน 14 วัน หรือทำงาน 42 ชม./สัปดาห์[8, 11]

4) มีการสัมผัสสารเคมีหลายชนิดในแต่ละวันที่ทำงาน[11]

5) ในแต่ละกะการทำงานอาจมีการทำงานล่วงเวลา แต่ให้นำระยะเวลาของตารางการทำงานที่ไม่เป็นตามกำหนด ซึ่งพนักงานคนนั้นปฏิบัติงานจริงอย่างน้อยร้อยละ 80 มาพิจารณาปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงานนั้น[11]

6) ควรพิจารณาว่า สารเคมีที่พนักงานได้รับมีผลกระทบต่อสุขภาพมากน้อยเพียงใดเช่น สารเคมีชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง ส่งกลิ่นระคายเคืองจมูกเล็กน้อย แต่ไม่ได้มีผลต่อระบบทางเดินหายใจและร่างกายระบบอื่นๆ ไม่จำเป็นต้องปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงาน[9]

7) พิจารณาปริมาณหรือความเข้มข้นของสารเคมีที่พนักงานสัมผัสและจำนวนพนักงานที่ได้รับผลกระทบ หากค่าความเข้มข้นของสารเคมีในสถานที่ทำงานนั้นมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 50 ของค่ามาตรฐานระดับสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่ทางองค์กรหรือประเทศนั้นกำหนดไว้ ก็อาจไม่จำเป็นต้องทำการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีนั้น[9]

8) กรณีที่สารเคมีไม่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพให้ใช้ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพที่ 20 ชม. แทนในการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงาน[7, 10]

9) มีหลายการศึกษาที่ระบุว่า ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพที่ระยะเวลาสั้นหรือระยะเวลานานไม่จำเป็นต้องทำการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี โดยมีความเห็นแตกต่างกันดังนี้

- Thomas W.[5] ศึกษาพบว่า การปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสารเคมีที่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพที่น้อยกว่า 0.6 ชม.หรือมากกว่า 78 ชม.จะไม่เกิดประโยชน์

- Laparé S.[6] และคณะพบว่า สารเคมีที่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพน้อยกว่า 1 ชม. ไม่จำเป็นต้องปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี ควรปรับเฉพาะสารเคมีที่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพตั้งแต่ 18 ชม. ขึ้นไป

- Dave K. Verma[7] ศึกษาวิจัยพบว่า จะไม่ทำการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี ถ้าสารเคมีนั้นมีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพที่น้อยกว่า 3 ชม. หรือมากกว่า 400 ชม.

1.2 แบบจำลองที่ใช้ในการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี

มีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาสูตรทางคณิตศาสตร์หรือสมการจำลองเพื่อที่จะใช้ปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงานกรณีที่มีชั่วโมงการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนด โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มดังนี้ 1) แบบจำลองที่ใช้สูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์ทั่วไป (General Formula Approach) ได้แก่ Brief and Scala Model 2) แบบจำลองที่ใช้หลักการเภสัชจลนศาสตร์ (Pharmacokinetic Approach) ได้แก่ Hickey and Reist's Pharmacokinetic Model, Roach's Pharmacokinetic Model 3) แบบจำลองที่ใช้สูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์ร่วมกับหลักการเภสัชจลนศาสตร์และพิษวิทยา (General Formula with Pharmacokinetic and Toxicological Consideration Incorporated Approach) ได้แก่ OSHA Model, Quebec Model 4) แบบจำลองที่ใช้หลักการทาง

สรีรวิทยาและพิษวิทยา (Physiologic Toxicokinetic Model) ได้แก่ One-Compartment Toxicokinetic Model, Physiologically-Based Toxicokinetic Model (PBTK)

1) แบบจำลองที่ใช้สูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์ทั่วไป

1.1) Brief and Scala Model

วิธีการคำนวณของ Brief and Scala Model อ้างอิงมาจาก Haber's law ซึ่งอธิบายว่า พิษของสารเคมีนั้นแปรผันตรงกับความเข้มข้นของสารเคมีและระยะเวลาที่สัมผัส ผู้ที่คิดแบบจำลองนี้มีแนวคิดว่า พนักงานที่ทำงานล่วงเวลามีโอกาสสัมผัสสารเคมีในสถานที่ทำงานมากกว่าปกติ ระยะเวลาในการได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายนานกว่าปกติ และมีระยะเวลาในการพักงานสั้นลง ทำให้ร่างกายมีการขับสารเคมีออกจากร่างกายปริมาณน้อยกว่าปกติ จึงเกิด Daily/Weekly Reduction Factor เพื่อลดค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงาน[5-9]

Haber's law: Concentration × Time = ke

ke = ค่าคงที่ของผลกระทบจากความเป็นพิษของสารเคมี

สูตร Daily Adjustment

Adjusted TLV = TLV × Daily Reduction Factor

= TLV × [8/ hd] × [(24-hd)/16]

hd = จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อวัน

[8/ hd] เป็น Reduction Factor ของระยะเวลาการทำงานต่อวัน

[(24-hd)/16] เป็น Reduction Factor ของระยะเวลาพักที่ลดลงต่อวัน

สูตร Weekly Adjustment

Adjusted TLV = TLV × Weekly Reduction Factor

= TLV × [40/ hw] × [(168-hw)/128]

hw = จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อสัปดาห์

[40/ hw] เป็น Reduction Factor ของระยะเวลาการทำงานต่อสัปดาห์

[(168-hw)/128] เป็น Reduction Factor ของระยะเวลาพักที่ลดลงต่อสัปดาห์

2) แบบจำลองที่ใช้หลักการเภสัชจลนศาสตร์

2.1) Hickey and Reist's Pharmacokinetic Model

วิธีการคำนวณนี้จะใช้หลักการเภสัชจลนศาสตร์ (Pharmacokinetics) หมายถึงการที่ร่างกายจัดการกับสารเคมีที่ได้รับ ได้แก่ การดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย (Absorption), การกระจายตัวของสารเคมี (Distribution), การเปลี่ยนแปลงสารเคมี (Metabolism) และการขับสารเคมีออกจากร่างกาย (Excretion) ปฏิกิริยาเหล่านี้ต้องพิจารณาร่วมกับความเข้มข้นของสารเคมี และระยะเวลาที่สารเคมีทำปฏิกิริยาในร่างกาย จึงจะสามารถประเมินว่า สารเคมีส่งผลกระทบต่อร่างกายมากน้อยเพียงใด ซึ่งจะต้องใช้ค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของสารเคมีมาใช้ในการคำนวณด้วย[6, 7, 13, 14] สอดคล้องกับงานวิจัยของธนาวัฒน์และคณะ[15] ที่ศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสแอมโมเนียของพนักงาน โดยการเก็บตัวอย่างแอมโมเนียที่ตัวบุคคลและพื้นที่

การทำงานเท่านั้น เนื่องจากสารเคมีชนิดนี้ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจมากที่สุด

Hickey and Reist's Pharmacokinetic Model ; Fp = TLV/OEL Reduction Factor

2.2) Roach's Pharmacokinetic Model

Roach's Pharmacokinetic Model ใช้หลักการเภสัชจลนศาสตร์คล้ายกับ Hickey

and Reist's Phar macokinetic Model ได้พัฒนากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดจำกัดในการสัมผัสสารเคมีที่ปรับแล้ว (Adjustment Factor, Fp) และค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของสารเคมี

3) แบบจำลองที่ใช้สูตรการคำนวณทางคณิตศาสตร์ร่วมกับหลักการเภสัชจลนศาสตร์และพิษวิทยา

3.1) OSHA Model

OSHA ได้คิดแนวทางการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงานเมื่อมีชั่วโมงการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนดขึ้นในปี ค.ศ.1979 ใช้หลักการเภสัชจลนศาสตร์และพิษวิทยาโดยพิจารณาว่า สารเคมีมีผลกระทบต่อร่างกายอย่างไร แต่ไม่ได้นำไปใช้กับสารที่ทำให้เกิดอาการระคายเคือง, สารที่ก่อให้เกิดการแพ้ และสารก่อมะเร็ง ส่วนใหญ่จะใช้กับสารเคมีที่ก่อให้เกิดพิษต่ออวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ชัดเจนโดยแบ่งสารเคมีออกเป็น 6 กลุ่มดังนี้ 1A) ค่าเพดานมาตรฐาน (Ceiling Standard) 1B) ป้องกันการก่อให้เกิดอาการระคายเคือง (Irritants) 1C) ข้อจำกัดทางเทคโนโลยี (Technological Limitation) 2) พิษระยะเฉียบพลัน (Acute Toxicants 3) พิษที่สะสมเรื้อรัง (Chronic Toxicants) 4) สารเคมีที่ก่อให้เกิดพิษระยะเฉียบพลันและพิษที่สะสมเรื้อรัง (Both Acute and Chronic Toxicants)[5-11]

OSHA Model : Acute (Short Term Effects) Adjustment - (Daily Adjustment)

Equivalent PEL = 8 hours PEL $\times$ 8/ Hours of exposure in a day

: Chronic (Long Term Effects) Adjustment - (Weekly Adjustment)

Equivalent PEL = 8 hours PEL $\times$ 40/ Hours of exposure in a week

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันสมการนี้ได้ถูกยกเลิกไป เพราะมีการศึกษาพบว่า การคำนวณเพื่อปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีในสถานที่ทำงานนั้นไม่มีประโยชน์ในการป้องกันพนักงานจากการสัมผัสสารเคมี แต่ควรกำหนดค่าขีดจำกัดการสัมผัสสารเคมีในที่ทำงานและวางมาตรการป้องกันให้พนักงานได้สัมผัสสารเคมีน้อยที่สุด[5] ยกเว้นที่ใช้เฉพาะกับสารตะกั่วโดยทางองค์กร OSHA ได้กำหนดค่าขีดจำกัดที่ยอมให้สัมผัสสารตะกั่วในบรรยากาศการทำงานอยู่ที่ 50 $\mu g/m^3$ หากพนักงานทำงานเกินกว่า 8 ชม. จะใช้สูตรคำนวณหาค่าขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมให้สัมผัสสารตะกั่วด้านล่าง[16, 17]

Maximum Permissible Limit ($\mu g/m^3$) = 400/ Hours of exposure in a day

3.2) Quebec Model

ใช้หลักแนวคิดเดียวกับ OSHA Model ถูกคิดค้นขึ้นเมื่อปี ค.ศ.1997 ที่รัฐคิวเบก ประเทศแคนาดา ซึ่งจะแตกต่างจาก OSHA ตรงที่สารเคมีจะรวมถึงสารที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ อาการระคายเคือง และสารที่มีผลทำให้ทารกพิการร่วมด้วย รวมทั้งสิ้นมีสารเคมีทั้งหมด 705 ชนิด นอกจากนี้ยังพบว่า มีการคิดค้นโปรแกรมการคำนวณทางคอมพิวเตอร์ขึ้นเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณโดยใช้หลักการคำนวณแบบ Phar macokinetic and Toxicological Model เช่น EXCEL Spreadsheet เป็นต้น[7, 8, 10]

4) การแบ่งโดยใช้หลักการทางสรีรวิทยาและพิษวิทยา

จะพิจารณาว่า สารเคมีไปมีผลกระทบต่อร่างกายส่วนใดบ้าง โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วนได้แก่ ตับเนื้อเยื่อไขมัน อวัยวะที่มีเลือดไปเลี้ยงมาก ผิวหนัง กล้ามเนื้อ และไขกระดูก

4.1) One-Compartment Toxicokinetic Model

4.1.1) Hickey and Reist's Model ก็จัดว่าเป็น One-Compartment Toxicokinetic Model เพราะพิจารณาถึงพิษของสารเคมีที่มีผลกระทบต่อร่างกายโดยรวม[6]

4.1.2) One-Compartment Toxicokinetic Model ที่พัฒนาสมการขึ้นจาก Hickey and Reist's Model โดยพิจารณาจากสารเคมีที่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ ตั้งแต่ 1-1,000,000 ชม. และวิเคราะห์จากพื้นที่ใต้กราฟของสมการที่สร้างขึ้นจนกระทั่งได้สมการแบบจำลองออกมาดังนี้

สมการที่ 1 $dA/dt = (Cexpo.Q.F) - (Ke.C.Vd)$

Cexpo = ระดับความเข้มข้นที่ได้สัมผัส (ปริมาณ/หน่วยปริมาตร)

Q = อัตราที่ถุงลมปอด ระบายอากาศ (ปริมาณ/หน่วยเวลา)

F = ค่าสัดส่วนร่างกายที่ดูดซึมสารเคมี

Ke = ค่าคงที่ของการกำจัดสารเคมี (หน่วย = 1/หน่วยเวลา, Ke50.693/ค่าครึ่งชีวิต)

C = A/Vd; C = ความเข้มข้นของสารเคมีที่อยู่ในร่างกาย (ปริมาณ/หน่วยปริมาตร)

A = ความสอดคล้องกับปริมาณของสารเคมีในร่างกาย

Vd = ความสอดคล้องกับการกระจายของปริมาตรของสารเคมีในร่างกาย

ต่อมาได้มีการศึกษาแบบจำลอง 2 กรณีศึกษา โดยใช้สารเคมีตัวเดียวกันแต่ระยะเวลาที่สัมผัส และความเข้มข้นต่างกัน จะพบว่า ปัจจัยที่ไม่มีผลต่อสมการได้แก่ อัตราที่ถุงลมปอดระบายอากาศ (ปริมาณ/หน่วยเวลา) ค่าสัดส่วนร่างกายที่ดูดซึมสารเคมี ความสอดคล้องกับการกระจายของปริมาตรของสารเคมีในร่างกาย และมีการศึกษาพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟความเข้มข้นของเลือดเมื่อสารเคมีอยู่ในร่างกาย สมการนี้ทดลองใช้กับสารเคมีที่มีค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพ 1 10 18 50 100 1,000 10,000 100,000 และ 1,000,000 ชม. จึงมีการพัฒนาสมการเป็นสมการที่ 2 และสมการที่ 3 ดังแสดงด้านล่าง[6]

สมการที่ 2 $dA/dt = C_{expo} - (K_e.C)$

สมการที่ 3 $F_{CONC} = C_{EXPOAJ}/ELs$

C_{EXPOAJ} = Correction Factor

F_{AUC} = C_{EXPOAJ}/ELs

ELs = ระดับความเข้มข้นของสารเคมีที่สัมผัส

AUC = ปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีทั้งหมดที่อยู่ในเลือด

4.2) Physiologically-Based Toxicokinetic Model (PBTK)

หลักการคิดจะคล้ายกับ One-Compartment Toxicokinetic Model แต่จะพิจารณาถึงความเข้มข้นของเลือดในอวัยวะที่ได้รับผลกระทบ จากการศึกษาพบว่าการคำนวณของสองวิธีแตกต่างกันน้อยกว่าร้อยละ 10 แต่ PBTK Model ใช้ง่ายกว่า One-Compartment Toxicokinetic Model[5, 6, 18]

2. การปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางกายภาพในสถานที่ทำงาน

2.1 สิ่งคุกคามทางกายภาพ: เสียงดัง

การสัมผัสเสียงจะส่งผลกระทบต่อร่างกายมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับระดับความดังของเสียงและระยะเวลาที่ได้สัมผัสเป็นสำคัญ ปริมาณพลังงานเสียงที่แหล่งกำเนิดเสียงส่งออกไปต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เรียกว่า ความเข้มเสียง (Sound Intensity, I) มีหน่วยเป็น วัตต์/ตร.ม. ความเข้มเสียงที่น้อยที่สุดและมากที่สุดที่หูมนุษย์ปกติได้ยินมีค่าเท่ากับ 10^{-12} วัตต์/ตร.ม. และ 1 วัตต์/ตร.ม.ตามลำดับ โดยทั่วไปนิยมคิดปริมาณพลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นระดับความเข้มเสียง (Sound Intensity Level, L) มีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (De cibel, dB) โดยได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มเสียง (L), ความเข้มเสียงที่ต้องการวัด (I) และความเข้มเสียงเสียงที่น้อยที่สุดที่หูมนุษย์ปกติได้ยิน (I_0) เป็นสมการลอการิทึมดังแสดงด้านล่าง[19]

$$L = 10\log (I/I_0)$$

ต่อมาได้มีการศึกษาว่า หากมีการเพิ่มปริมาณพลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสองเท่าจะมีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มเสียงเป็นเท่าใด พิสูจน์ได้ดังสมการด้านล่าง เมื่อ X = อัตราที่พลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มเป็นสองเท่า (Exchange Rate)[19]

$$10\log (I/I_0) + X = 10\log (2I/I_0)$$

$$X = 10\log (2I/I_0) - 10\log (I/I_0)$$

$$X = 10\log 2 + 10\log (I/I_0) - 10\log (I/I_0)$$

$$X = 10\log 2$$

$$X = 10(0.301)$$

$$X = 3.01 \text{ dB}$$

จากสมการจะเห็นว่า หากมีการเพิ่มพลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เป็นสองเท่าจะทำให้ระดับความเข้มเสียงเปลี่ยนแปลงไป 3 dB หรืออัตราที่ทำให้พลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มเป็นสองเท่าคือ 3 dB ในหลายประเทศและหลายองค์กรออกแนวทางการปรับค่าระดับการสัมผัสเสียง โดยใช้หลักการวัดระดับความดังของเสียงที่ตรวจวัดได้จากเครื่องวัดระดับความดังของเสียง (Sound Level Meter) หรือเครื่องวัดปริมาณเสียงสะสม (Noise Dosimeter) โดยสเกลที่ใช้คือ A เพราะเป็นสเกลที่ตอบสนองคล้ายกับการได้ยินของหูคนมากที่สุดวัดได้เป็นหน่วยเดซิเบลเอ หรือ dB(A) จากนั้นนำมาหาระดับเสียงที่พนักงานได้รับเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงาน 8 ชม./วัน (Time-Weighted Average, TWA) โดยระยะเวลาเฉลี่ยที่สามารถสัมผัสเสียงที่ความดังต่างๆ ได้จะสัมพันธ์กับปริมาณร้อยละเสียงสะสม เมื่อใช้กฎการเท่ากันของพลังงาน และให้อัตราที่พลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มเป็นสองเท่าที่ 3 4 หรือ 5 dB ตามที่แต่ละประเทศหรือองค์กรต่างๆได้กำหนดแนวทางไว้ เช่น องค์กร ACGIH, NIOSH กำหนดอัตราที่พลังงานเสียงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เพิ่มเป็นสองเท่าที่ 3 dB หน่วยงานทางด้านเรือรบกำหนดที่ 4 dB ขณะที่องค์กร OSHA และตามกฎกระทรวงกำหนดที่ 5 dB[19] ซึ่งแต่ละเกณฑ์กำหนดค่าขีดจำกัดการสัมผัสสิ่งคุกคามทางกายภาพเสียงในสถานที่ทำงานระยะเวลา 8 ชม.

(Threshold Limit Value-Time-Weighted Average, TLV-TWA) ให้ปริมาณเสียงสะสมที่ร้อยละ 100 มีระดับความเข้มเสียงเท่ากับ 90 หรือ 85 dB(A)[2-4, 16]

2.2 สิ่งคุกคามทางกายภาพ: ความร้อน

มีการศึกษาพบว่า หากมนุษย์อยู่ในสถานที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้มีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น มีการไหลเวียนโลหิตในระบบการทำงานของหัวใจเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการสัมผัสสารเคมีเพิ่มมากขึ้นขณะเดียวกันการไหลเวียนโลหิตในระบบการทำงานของไตและตับลดลง ทำให้อัตราการขับสารเคมีออกจากร่างกายลดลงตามไปด้วย[3] โดยปกติร่างกายมนุษย์จะได้รับความร้อนจากแหล่งพลังงานความร้อน 2 แหล่งด้วยกันคือ ความร้อนจากภายในร่างกายจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารในร่างกาย (Metabolism Heat) และความร้อนจากสิ่งแวดล้อม (Environmental Heat) เช่น จากกระบวนการทำงานจากเครื่องจักรอธิบายได้เป็นสมการพื้นฐานสมดุลความร้อน[20]

$$S = (M-W) \pm C \pm R \pm K-E$$

S = การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิร่างกาย

(M-W) = พลังงานทั้งหมดจากการเผาผลาญในร่างกายลบด้วยพลังงานจากการทำงานของกล้ามเนื้อ

C = การถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน (Convective Heat Exchange)

R = การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน (Radiative Heat Exchange)

K = การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน (Conductive Heat Exchange)

E = การสูญเสียความร้อนโดยการระเหยกลายเป็นไอของเหงื่อ (Evaporative Heat Loss)

ยังมีอีกหลายปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง เช่น อัตราการเผาผลาญในร่างกายขึ้นกับน้ำหนักตัว อายุ ลักษณะงาน และระยะเวลาการทำงาน มีหลายหน่วยงานที่กำหนดมาตรฐานการทำงานเกี่ยวกับความร้อน เช่น องค์กร ACGIH สถาบัน NIOSH และสำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency, EPA) ได้กำหนดอุณหภูมิความร้อนในบริเวณที่ปฏิบัติงาน ซึ่งตรวจวัดเป็นอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบ (Wet Bu lb Globe Temperature-WBGT) ค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 2 ชม.ที่มีอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบสูงสุดของการทำงานปกติ โดยกำหนดความสัมพันธ์ตามความหนักเบาของการทำงานหรืออัตราการเผาผลาญในร่างกาย (หน่วย kcal/hr) อีกทั้งกำหนดระยะเวลาการทำงาน ระยะเวลาพัก และลักษณะเสื้อผ้าด้วย[3, 4, 20, 21] องค์กรที่ดูแลความปลอดภัยในการทำงานทางประเทศแคนาดาได้กำหนดที่อุณหภูมิในบรรยากาศการทำงานมากกว่า 30 องศาเซลเซียส จะต้องปรับลดค่าขีดจำกัดการสัมผัสสารเคมีลงมาร้อยละ 15 จากค่าเดิม เป็นต้น[9] ขณะที่ประเทศไทยตามกฎกระทรวง[22] กำหนดอุณหภูมิความร้อนในบริเวณที่ปฏิบัติงานสัมพันธ์ตามอัตราการเผาผลาญในร่างกายเท่านั้น สถาบัน NIOSH ได้กำหนดค่าขีดจำกัดระดับความร้อนในบรรยากาศการทำงาน โดยกำหนดระยะเวลาการทำงานและระยะเวลาพักในแต่ละระดับอุณหภูมิ แบ่งตามระดับภาระงานพิจารณาตามค่าเฉลี่ยอัตราการเผาผลาญในร่างกาย ได้ทำการศึกษาพบว่า การทำงานช่วงระยะเวลาสั้น มีช่วงพักเป็นระยะจะทำให้สามารถทำงานในสถานที่มีอุณหภูมิสูงได้นานขึ้น จึงได้กำหนดระยะเวลาทำงานเป็น 60 45 30 และ 15 นาที โดยกำหนดสมการความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเวตบัลบ์โกลบ (Recommended Heat Stress Alert Limits - RALs) และ (Recommended Exposure Limits - RELs) กับค่าเฉลี่ยอัตราการเผาผลาญในร่างกายดังนี้[20, 23]

$$RAL\ [°C\text{-}WBGT] = 59.9 - 14.1 \log_{10} M\ [W]$$

$$REL\ [°C\text{-}WBGT] = 56.7 - 11.5 \log_{10} M\ [W]$$

3. สรุปการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในสถานที่ทำงาน

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาและแนวทางจากองค์กรต่างๆ ได้ให้คำแนะนำว่าควรมีการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมี และสิ่งคุกคามทางกายภาพ ได้แก่ เสียงดัง และความร้อนในสถานที่ทำงานกรณีที่ระยะเวลาการทำงานไม่เป็นตามที่กำหนด ซึ่งในการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีนั้นต้องพิจารณาหลายปัจจัยทั้งระยะเวลาการทำงานที่ได้รับการสัมผัสสารเคมี ช่วงพักงานที่ไม่ได้รับการสัมผัสสารเคมี ความเป็นพิษของสารเคมี ปฏิกิริยาที่สารเคมีส่งผลต่อร่างกายไม่ว่าจะเป็นการดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย การกระจายตัวของสารเคมี การเปลี่ยนแปลงสารเคมี และการขับสารเคมีออกจากร่างกาย และยังต้องพิจารณาถึงค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพร่วมด้วย ในปัจจุบันองค์กร OSHA ยังใช้การปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีเฉพาะกับสารตะกั่วเท่านั้น เพราะมีการศึกษาพบว่า การคำนวณเพื่อปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางเคมีนั้นไม่ช่วยป้องกันพนักงาน อีกทั้งเภสัชจลนศาสตร์และค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน จึงควรให้พนักงานหลีกเลี่ยงการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพโดยไม่จำเป็นมากที่สุด ดังนั้นผู้เขียนมีความเห็นว่าสิ่งคุกคามทางกายภาพโดยเฉพาะเสียงดังและความร้อนควรมีการปรับค่าระดับการสัมผัสเพื่อความปลอดภัยของพนักงาน ส่วนสิ่งคุกคามทางเคมีนั้นไม่แนะนำเนื่องจากสารเคมีเปลี่ยนแปลงตามเภสัชจลนศาสตร์และค่าครึ่งชีวิตทางชีวภาพของสารแต่ละชนิด ซึ่งทั้งสองปัจจัยนี้ถือเป็นข้อจำกัดในการปรับค่าระดับการสัมผัสสิ่งคุกคามทางสุขภาพในการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่

เอกสารอ้างอิง

1. Notification of Ministry of Industry Vol. 4439 (B.E.2555) This Act contains certain provisions in relation to Industrial product B.E.2511 Health Risk Assessment Chemical agents in factory workers. Government Gazette Vol. 129, Part 146d. Dated 21th September B.E. 2559 (2016).
2. Occupational Safety and Health Administration. Permissible Exposure Limits – Annotated Tables. Available at https:// www. osha. gov /dsg/annotated-pels/, accessed September 20, 2016.
3. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents; Biological Expo sure Indices. Cincinnati, Ohio. 2016.
4. Centers for Disease Control and Prevention. Exposure Limits. Available at https:// www.cdc.gov/niosh/npg/pgintrod.html, accessed September 19, 2016.
5. Thomas W. Armstrong DJ. Caldwell DK. Verma. Occupa tional Exposure Limits: An Approach and Calculation Aid for Extended Work Schedule Adjustments. J Occup Environ Hyg 2005; 2: 600-7.
6. Lapare´S, Tardif R, Brodeur J. Effect of various exposure scenarios on the biological mo nitoring of organic solvents in alveolar air II. 1,1,1-Trichloro ethane and trichloroethylene. AI HA J 1995; 67: 375–94.

7. Verma DK. Adjustment of occupational exposure limits to unusual work schedules. AIHA J 2000; 61: 367–74.
8. Elias J, Reineke A. Adjustments for unusual work. Elias Occupational Hygiene Consulting 2016; 1-14.
9. SAFT Work Manitoba. Establishing Occupational Exposure limits in your workplace. Available at https://safemanitoba.com/occupational-exposure-limits, accessed September 11, 2016.
10. The Australian Institute of Occupational Hygienists Inc. Position on Adjustment of Work place Exposure Standards for Atmospheric Contaminants for Extended Shifts. 2016.
11. The Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST). Guide for the adjustment of permissible exposure values (PEVs) for unusual work schedules. Available at https://www.irsst.qc.ca/files/documents/PublRSST/t-22.pdf, accessed September 15, 2016.
12. Pastino GM, Kousba AA. Derivation of occupational exposure limits based on target blood concentrations in humans. Regul Toxicol Pharmacol 2003; 37: 66–72.
13. Kusuma Na Ayuthya S, Kongkar R. Pharmacokinetics and pharmacodynamics. Available at https://www.ns.mahidol.ac.th/english/th/.../(Pharmacokinetics).pdf, accessed September 20, 2016.
14. The Australian Institute of Occupational Hygienists Inc. Available at http://www.acgih.org/tlv-bei-guideline/tlv-chemical-substances-introduction, accessed September 20, 2016.
15. Rakkamon T, Na-Songkhla T. Health Risk Assessment of Ammonia Exposure Among Workers of Rubber Holder Cooperative in Southern Thailand. Journal of Public Health 2015; 45: 134-47.
16. Occupational Safety and Health Administration. Occupational Safety and Health Standards; Toxic and Hazardous Substances. Available at https://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show__document?p__table=STANDARD S&p__id=10030, accessed October 22, 2016.
17. Committee on Potential Health Risks from Recurrent Lead Exposure of DOD Firing Range Personnel. Potential Health Risks to DOD Firing-Range Personnel from Recurrent Lead Ex posurehttps. Available at http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK206968/?report=reader, accessed October 20, 2016.
18. Lapare´S, Tardif R, Brodeur J. Contribution of Toxicokinetic Modeling to the Adjustment of Exposure Limits to Unusual Work Schedules. AIHA J 2003; 64: 17-23.

19. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health Criteria for a Recommended Standard. Occupational Noise Exposure. Revised Criteria 1998. Available at https://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126/pdfs/98-126.pdf, accessed October 21, 2016.
20. Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health Criteria for a Recommended Standard. Occupational Exposure to Heat and Hot Environments Revised Criteria 2016. Available at https://www.cdc.gov/niosh/docs/2016-106/pdfs/2016-106.pdf, accessed October 18, 2016.
21. Environmental Health & Safety (EHS), MSU Employee Guidelines For Working in hot Environment. Available at https://www.ehs.msu.edu/occupational/...guidelines/heat.../heatstressmanual.pdf, accessed October 18, 2016.
22. Rule of the department of Labour protection and welfare on standard for management of Occupational Safety, Health and Environment Heat Light and Noise 2016. Government Gazette Vol. 133, Part 91a. Dated 17th October B.E. 2559 (2016).
23. Occupational Safety and Health Administration. Heat Stress. Available at https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm__ iii/otm __iii__4.html, accessed October 18, 2016.

Occupational Health Hazards Exposure Adjustment

Shewarat Prasan[*] *Charubongse Brohmwitak*[**]

ABSTRACT

Before defining any occupational health hazards exposure levels, authorized organizations always specify a period of exposure to hazards at 8 hours/day, 5 days/week or 40 hours/week without any health effects. Many employees do not work as aforementioned. This article studied adjusting occupational health hazard exposure levels for workers employed in different work schedules. The results from literature review found that in many countries, physical occupational health hazard adjustment such as for noise and heat were applied. However, chemical health hazards were not because of the differences among chemicals in their pharmacokinetics and biological half-lives. These two factors limited the studies of adjusting occupational health hazard exposure levels.

Keywords: Exposure adjustment, Occupational health hazards, Workplace

J Public Health 2017; 47(1): 79-90

Correspondence: Shewarat Prasan. Occupaional and Environment Medicine Center, Nopparat Ratchathani Hospital, Bangkok 10230, Thailand. E-mail: shewaratprasan.oem@gmail.com

[*] Occupational and Environmental Medicine Center, Nopparat Ratchathani Hospital, Department of Medical Services, Ministry of Public Health

[**] Occupational Medicine Division, Outpatient and Emergency Department, Queen Savang Vadhana Memorial Hospital, Thai Red Cross Society