

รายงานการจัดทำค่าชดเชยจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน
และแนวปฏิบัติเพื่อปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ



โดย

ส่วนปฏิบัติการฉุกเฉินและฟื้นฟู
สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย
กรมควบคุมมลพิษ

รายงานการจัดทำค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน
และแนวปฏิบัติเพื่อปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ

| สารบัญ | หน้า |
|---|------|
| ๑. หลักการและเหตุผล | ๑ |
| ๒. วัตถุประสงค์ | ๑ |
| ๓. ข้อมูลและวิธีการดำเนินงาน | ๒ |
| ๓.๑) หลักการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับ ความเป็นพิษแบบไม่ก่อมะเร็งและแบบก่อมะเร็ง (Dose-Response Assessment for Noncancer and Cancer Toxicity) | ๓ |
| ๓.๒) ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศ (Exposure Limits) ที่มีในปัจจุบัน | ๔ |
| ๓.๓) กระบวนการจัดทำเกณฑ์ปกป้องประชาชนจากสารเคมีรั่วไหล | ๑๐ |
| ๓.๓.๑) เลือกราคาเริ่มต้น (POD: Point of Departure) | ๑๐ |
| ๓.๓.๒) ปรับราคาเริ่มต้น (POD) ด้วยค่าปัจจัยปริมาณสาร (Dosimetric Adjustment) | ๑๓ |
| ๓.๓.๓) ปรับราคาเริ่มต้น (POD) ให้เหมาะสมด้วยค่าปัจจัยระยะสัมผัส (Duration Adjustment) | ๑๔ |
| ๓.๓.๔) ปรับด้วยค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors: UFs) | ๑๕ |
| ๔. การกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารอันตรายของประเทศไทย | ๑๖ |
| ๔.๑) วิธีการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีของประเทศไทย | ๑๖ |
| ๔.๒) สารเคมี | ๑๗ |
| ๔.๓) ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีของประเทศไทย | ๒๑ |
| ๕. สรุป | ๒๒ |
| ๖. เอกสารอ้างอิง | ๒๓ |
| ภาคผนวก ๑ ตารางแสดงตัวอย่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารอันตรายแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) | ก |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ ๑ ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีตามลักษณะการรับสัมผัสสาร | ๙ |
| ตารางที่ ๒ สารอันตรายที่มีค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลัน (AEGL) | ๑๘ |
| ตารางที่ ๓ ตัวอย่างการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลัน-คลอรีน | ๒๐ |
| ตารางที่ ๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันระดับต่างๆ และผลกระทบต่อสุขภาพ | ๒๒ |

รายงานการจัดทำคำชี้แจงจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน และแนวปฏิบัติเพื่อปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ

๑. หลักการและเหตุผล

ประเทศไทยมีการพัฒนาภาคอุตสาหกรรมให้เกิดความเจริญก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง และมีการตั้งโรงงานอุตสาหกรรมและสถานประกอบการที่ใช้และผลิตสารเคมีกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังจะเห็นได้ว่ามีนิคมอุตสาหกรรมเขตประกอบการอุตสาหกรรมและสวนอุตสาหกรรม ตั้งครอบคลุมอยู่ทุกภูมิภาคของประเทศมากกว่า ๖๑ แห่ง อาทิ พื้นที่จังหวัดลำพูน จังหวัดปทุมธานี จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดชลบุรี จังหวัดระยอง จังหวัดสมุทรสาคร จังหวัดราชบุรี จังหวัดสงขลา และอื่น ๆ นอกจากนี้ ยังมีโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารเคมีอันตรายร้ายแรง เช่น ห้องเย็นขนาดใหญ่และโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้ก๊าซแอมโมเนียเพื่อใช้เป็นสารทำความเย็นภายในระบบทำความเย็นอีกเป็นจำนวนมาก เป็นต้น หากเกิดเหตุรั่วไหลและแพร่กระจายของสารเคมี ทั้งจากกระบวนการผลิต การจัดเก็บ การขนถ่าย และการขนส่ง อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นวงกว้าง ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์สารเคมี methyl isocyanate รั่วไหลจากโรงงานผลิตสารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ยูเนี่ยน คาร์ไบด์ ที่เมืองโงปาล ประเทศอินเดีย ปี พ.ศ. ๒๕๒๗ ทำให้มีผู้ได้รับสารจำนวนมากกว่า ๕๐๐,๐๐๐ คน และมีผู้เสียชีวิตในทันที ๒,๒๕๙ คน และมีผู้เสียชีวิตทั้งหมดประมาณ ๑๖,๐๐๐ คน หลังจากเหตุการณ์สารเคมีรั่วไหลในครั้งนี้ เหตุการณ์สารคลอรีนรั่วไหลจากการหยุดกระบวนการผลิตของบริษัทอิติตยา เบอร์ล่า เคมีคัลส์ จำกัด ส่งผลให้มีผู้ได้รับบาดเจ็บกว่า ๖๐ คน เป็นต้น

จากเหตุรั่วไหลสารเคมีดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าประชาชนจำนวนมากได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิตจำนวนมากจากการได้รับสัมผัสสารในระยะสั้นๆ ซึ่งการป้องกันและแก้ไขการเกิดพิษเฉียบพลันจากสารเคมีของประชาชนสามารถดำเนินการได้หากมีการประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันล่วงหน้าในกระบวนการวางแผน หรือการประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันระหว่างการตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมี เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการปกป้องประชาชนจากสารเคมีรั่วไหลต่อไป โดยข้อมูลที่สำคัญในการประเมินความเป็นพิษเฉียบพลันจากสารเคมีรั่วไหล คือเกณฑ์การปกป้องประชาชนทั่วไปจากการรับสัมผัสสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลัน กรมควบคุมมลพิษ ตระหนักถึงความจำเป็นของข้อมูลดังกล่าวได้จัดทำเกณฑ์การบ่งชี้ระดับความปลอดภัยแก่ประชาชนสารเคมีในบรรยากาศสำหรับสารเคมีกลุ่มที่มีอันตรายร้ายแรงขึ้น สำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ในการพิจารณาบ่งชี้ความเป็นพิษต่อประชาชนทั่วไปอย่างเฉียบพลัน เพื่อเลือกวิธีการปกป้องประชาชนที่เหมาะสมในการวางแผนล่วงหน้าและระหว่างการเกิดเหตุสารเคมีรั่วไหล เช่น การอพยพ หรือการหลบภัยในอาคาร เป็นต้น รวมทั้ง การพิจารณาความปลอดภัยแก่ประชาชนเพื่ออพยพกลับที่อยู่อาศัยได้

๒. วัตถุประสงค์

เพื่อจัดทำคำชี้แจงจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน และแนวปฏิบัติเพื่อปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ สำหรับใช้เป็นแนวปฏิบัติแก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศต่อไป

๓. ข้อมูลและวิธีการดำเนินงาน

๓.๑) หลักการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับความเป็นพิษแบบไม่ก่อมะเร็งและแบบก่อมะเร็ง (Dose-Response Assessment for Noncancer and Cancer Toxicity)

หลักการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและผลกระทบต่อสุขภาพสำหรับความเป็นพิษแบบไม่ก่อมะเร็ง (Dose-Response Assessment for Noncancer Toxicity) เป็นหลักการที่ศึกษาถึงผลกระทบต่อสุขภาพอื่นๆที่ไม่ใช่การก่อมะเร็งและการกลายพันธุ์ อันได้แก่ ผลกระทบต่อเนื้อเยื่อบริเวณทางเข้าสู่ร่างกาย และผลกระทบหลังจากการดูดซึมและแพร่กระจายของสารเคมีไปยังอวัยวะเป้าหมาย สารเคมีกลุ่มนี้อาจเรียกเป็นกลุ่มที่เป็นพิษเชิงระบบ (systemic toxicants) เนื่องจากจะไปมีผลกระทบต่อการทำงานของอวัยวะเป้าหมายต่างๆ สารเคมีส่วนมากแสดงความเป็นพิษที่อวัยวะเป้าหมายหลักเพียงหนึ่งหรือสองแห่ง โดยจากการศึกษาพบว่า เมื่อปริมาณสารเพิ่มขึ้นผลกระทบที่มีต่อกลุ่มประชากรหรือระดับของผลกระทบที่มีต่อบุคคลใดบุคคลหนึ่งพบว่าเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งในแบบโอกาสที่จะพบผลกระทบต่อสุขภาพของบุคคลใดบุคคลหนึ่ง (individual) เพิ่มขึ้นและแบบพบการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นของกลุ่มประชากร (population) ความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถวัดเชิงปริมาณได้ (U.S. EPA, 1994)

โดยทั่วไปแล้ว กลไกการเกิดพิษจากการได้รับสารเคมี (Mechanisms of Toxicity) สามารถอธิบายได้ว่า หลังจากสารเคมีเข้าสู่ร่างกายแล้วจะเดินทางไปตามเส้นเลือดเพื่อไปจับกับอวัยวะเป้าหมายที่จะเกิดการเป็นพิษ โดยเฉพาะ ตับ ไต เลือด เป็นต้น การสะสมของสารเคมีในร่างกายขึ้นอยู่กับปัจจัยของสารเคมีกับชีวโมเลกุลในร่างกาย (รวมถึง ไขมัน) สารเคมีที่ละลายน้ำได้ดีจะถูกขับออกมาทางปัสสาวะอย่างรวดเร็ว ในขณะที่สารอินทรีย์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์แสดงอัตราส่วนความสามารถการละลายของสารเคมีในออกทานอลต่อน้ำ (Kow) สูงๆ (ไม่ชอบน้ำ) จะสะสมในไขมัน อย่างไรก็ตาม โลหะหนักบางตัวอาจสะสมในไขมันและชีวโมเลกุลในแบบที่แตกต่างกับสารเคมีที่มีค่า Kow สูงๆ เช่น ตะกั่วจะจับกับชีวโมเลกุลในระบบประสาทส่วนกลาง แคดเมียมสามารถจับกับตัวรับในไตก่อให้เกิดไตเสียหายได้ โดยแนวคิดสำคัญๆ ของกลไกการเกิดพิษของสารเคมีมักเกี่ยวข้องกับประเด็นต่างๆ ดังนี้ ทางเข้าสู่ร่างกาย การแพร่กระจายของสารเคมีในร่างกาย การแปรสภาพทางชีวภาพ (Biotransformation) ของสารเคมี การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีกับตัวรับในร่างกาย การสะสมสารเคมีในร่างกาย และการขับออกของสารเคมีในร่างกาย (Asante-Duah, 2002)

แนวคิดที่สำคัญที่สุดในการประเมินความเสี่ยงสำหรับความเป็นพิษแบบไม่ก่อมะเร็งคือ แนวคิดเรื่องขีดจำกัดการรับสัมผัส (Threshold Concepts) ซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า สารเคมีทุกชนิดสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบไม่ก่อมะเร็งได้เมื่อมีความเข้มข้นสูงในระดับหนึ่ง (threshold) และที่ความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศมีค่าต่ำกว่าระดับนั้นไม่พบการเปลี่ยนแปลงหรือไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งต่างจากสารเคมีกลุ่มที่ก่อมะเร็งและก่อการกลายพันธุ์ที่เชื่อว่าเป็นสารเคมีกลุ่มที่ไม่มีขีดจำกัดหรือไม่มีค่าขั้นต่ำที่จะก่อให้เกิดมะเร็งหรือการกลายพันธุ์ หรือการได้รับสารเคมีกลุ่มนี้ไม่ว่าที่ความเข้มข้นเท่าใดก็ทำให้เกิดการก่อมะเร็งหรือการกลายพันธุ์ได้ (non-threshold) (Asante-Duah, 2002)

นอกจากนี้ ชีตจำกัดการรับสัมผัสยังสามารถนำไปใช้กับผลกระทบต่อสุขภาพระดับต่าง ๆ ได้ เช่น ชีตจำกัดการรับสัมผัสสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพแบบไม่รุนแรง ชีตจำกัดการรับสัมผัสสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพแบบปานกลาง/รุนแรง และชีตจำกัดการรับสัมผัสสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพแบบถึงแก่ชีวิต เป็นต้น การประมาณการค่าชีตจำกัดการรับสัมผัสที่ระดับต่าง ๆ กลายเป็นวัตถุประสงค์หลักของการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพ อย่างไรก็ตาม นิยามของชีตจำกัดการรับสัมผัสมีความซับซ้อนในตัวของมันเองเนื่องจากประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลากหลาย ได้แก่ วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้ (กฎหมายบังคับใช้) การแปลผลข้อมูล (ผลจากการศึกษาในการตรวจพบผลกระทบต่อสุขภาพระดับต่าง ๆ หรือชีตจำกัดการรับสัมผัสต่อคนใดคนหนึ่งหรือกลุ่มประชากร เป็นต้น) นโยบายด้านวิทยาศาสตร์ (คำถามเกี่ยวกับความรุนแรงของผลกระทบ และนัยสำคัญทางชีววิทยาเทียบกับทางสถิติ เป็นต้น) รวมถึงความไม่แน่นอนจากการประมาณการค่านอกช่วงเวลาที่กำหนดหรือสิ่งมีชีวิตคนละสปีชีส์ เป็นต้น (OECD, 2011)

สำหรับสารก่อมะเร็งซึ่งเป็นที่เข้าใจว่าเป็นสารกลุ่มที่ไม่มีค่าชีตจำกัดการรับสัมผัสสาร (Non-threshold) ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารและการเกิดมะเร็งแสดงเป็นความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น (excess risk) เนื่องจากการรับสัมผัสสารเคมี และความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้นแบบเป็นสัดส่วนตรงกับการรับสัมผัสสารที่เพิ่มขึ้น ค่าที่แสดงถึงศักยภาพในการก่อมะเร็งของสารเคมีคือ ค่าความชันในการก่อมะเร็ง (cancer potency slope) มีหน่วยเป็น (มิลลิกรัม/กิโลกรัมน้ำหนักตัว/วัน)⁻¹ หรือค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากการหายใจ (inhalation unit risk) มีหน่วยเป็น (ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร)⁻¹

สำหรับสารก่อมะเร็งที่เป็นสารก่อการกลายพันธุ์และไม่ทราบกลไกการก่อมะเร็งอย่างชัดเจน ให้ประมาณการค่าชีตจำกัดการรับสัมผัสสารดังกล่าวจากค่าความเข้มข้นที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้นที่ความเชื่อมั่นระดับบน ๙๕ เปอร์เซ็นต์ (upper confidence limit) จากกราฟเส้นตรงที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงโอกาสการก่อมะเร็งแบบ Multistage อย่างไรก็ตาม กรณีที่สารก่อมะเร็งนั้นไม่มีข้อมูลที่ชัดเจนเกี่ยวกับจำนวนระยะในการก่อมะเร็ง (stages) และระยะใดที่ขึ้นตรงกับปริมาณการรับสัมผัส NRC (2001) เสนอแนะให้ใช้ค่าเฉลี่ยปริมาณสารแบบถ่วงน้ำหนัก โดยให้ความเสี่ยงที่เกิดจากการรับสัมผัสสารก่อมะเร็งแบบเรื้อรัง (d) จนถึงวันที่ t จะเท่ากับความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสารก่อมะเร็งปริมาณ D ในวันแรก (t0) และแสดงเป็นสมการได้ ดังนี้ $D = d \times t$ (NRC, 2001)

ปัจจุบันได้มีการประมาณการความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งเพิ่มจากปกติที่ระดับ ๑ ใน ๑๐,๐๐๐ ๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ และ ๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ จากการรับสัมผัสสารเพียงครั้งเดียว (แบบเฉียบพลัน) จากข้อมูลการรับสัมผัสแบบเรื้อรังและปรับปริมาณสารตามระยะเวลาการรับสัมผัสแบบเฉียบพลันโดยประยุกต์ใช้ Henry's Law ค่าความเข้มข้นที่ได้จะมีการปรับโดยปัจจัยการเกิดมะเร็งแบบหลายขั้นตอน (Multistage) ตามข้อมูลลักษณะการก่อมะเร็งของแต่ละสาร (NRC, 2001)

๓.๒) ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี (Exposure Limits) ที่มีในปัจจุบัน

ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศที่ได้มีการจัดทำขึ้นเพื่อปกป้องคุ้มครองผู้ที่มีโอกาสรับสัมผัสสารเคมีในปัจจุบัน มีการจัดทำขึ้นสำหรับหลากหลายวัตถุประสงค์ ได้แก่

- สำหรับปกป้องคุ้มครองพนักงานในสถานประกอบการที่มีสุขภาพดี (Occupational) ซึ่งเป็นกลุ่มที่อยู่ในช่วงกลุ่มอายุ ๒๐-๖๕ ปี ที่มีสุขภาพแข็งแรงเพียงพอต่อการทำงานตลอดวัน โดยมีกลุ่มประชากรอ่อนไหวที่อยู่ภายในกลุ่มที่ทำงานในกลุ่มนี้เท่านั้น การรับสัมผัสสารของกลุ่มนี้กำหนดเป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่อวัน และต่ออาทิตย์ (๘-ชม./วัน และ ๔๐-ชม./อาทิตย์ ตามลำดับ) และอาจมีโอกาสรับสัมผัสสารที่ความเข้มข้นสูงในระยะสั้นภายในระยะเวลาทำงานดังกล่าวได้ ตัวอย่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศกลุ่มนี้ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารเคมีที่เสนอแนะให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน (Recommended Exposure Limits: RELs) ค่าความเข้มข้นสารเคมีที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ (Permissible Exposure Limits: PELs) ค่า STEL ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่เชื่อว่าพนักงานเกือบทุกคนสามารถรับสัมผัสซ้ำ ๆ ได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (Threshold Limit Value: TLV) เป็นต้น (OECD, 2011)

- สำหรับปกป้องคุ้มครองประชาชนทั่วไปกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินสารเคมี (Emergency Response) โดยกลุ่มประชาชนทั่วไปอาจไม่จำเป็นต้องรวมถึงประชากรกลุ่มที่มีความอ่อนไหวที่สุด (most susceptible subgroups) เป็นค่าที่ออกแบบสำหรับการรับสัมผัสสารที่เป็นได้ยากและเกิดในระยะสั้น ๆ หรืออาจเรียกว่า เป็นการรับสัมผัสแบบ “ครั้งหนึ่งในชีวิต” หรือโอกาสเกิดการรั่วไหลเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมักมีค่าสูงกว่าค่าสำหรับปกป้องสาธารณสุขเพื่อหลีกเลี่ยงการสร้างความเสี่ยงที่อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อชีวิตและความปลอดภัยระหว่างการอพยพที่ตามมา โดยเฉพาะในพื้นที่ที่อาจได้รับผลกระทบจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ตัวอย่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศกลุ่มนี้ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศ โดยเชื่อว่าประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ถึง ๑ ชม. แล้วไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Acute Exposure Guideline Levels: AEGs) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศ โดยเชื่อว่าประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับสัมผัสได้ถึง ๑ ชม. โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Emergency Response Planning Guidelines: ERPGs) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ถึง ๑ ชม. โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Temporary Emergency Exposure Limits: TEELs) เป็นต้น (OECD, 2011)

- สำหรับปกป้องคุ้มครองประชาชนทั่วไป (Public health) เป็นค่าที่ออกแบบมาเพื่อปกป้องคุ้มครองประชาชนทั่วไปในระดับที่สูงกว่าค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารสำหรับพนักงานและกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินสารเคมีข้างต้น โดยคำนึงถึงกลุ่มประชากรเสี่ยงส่วนมากแต่อาจไม่รวมถึงกลุ่มประชากรเสี่ยงมาก (hypersusceptible) ค่านี้เป็นค่าที่ออกแบบสำหรับการรับสัมผัสซ้ำ ๆ เป็นประจำ ซึ่งตรงข้ามกับการรับสัมผัสจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีที่เป็นการรับสัมผัสแบบ “ครั้งหนึ่งในชีวิต” ตัวอย่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัส

สารเคมีในบรรยากาศกลุ่มนี้ ได้แก่ ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ตามระยะเวลาที่กำหนด (เฉลี่ย ๑ ชั่วโมง) โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (Acute Reference Exposure Limits: AREL) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (รวมทั้งประชากรกลุ่มเสี่ยง) สามารถรับสัมผัสได้ในช่วงระยเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ ๒๔ ชั่วโมง โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพตลอดช่วงชีวิต (Acute Reference Concentration: ARfC) เป็นต้น (OECD, 2011)

ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศที่ได้มีการจัดทำขึ้นเพื่อปกป้องคุ้มครองผู้ที่มีโอกาสรับสัมผัสสารเคมีในปัจจุบัน มีดังนี้ (เรียงตามลำดับเวลาที่มีการจัดทำขึ้น)

๓.๒.๑) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่เชื่อว่าพนักงานเกือบทุกคนสามารถรับสัมผัสซ้ำๆ ได้โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ (Threshold Limit Value: TLV) ค่า TLVs เป็นค่าที่จัดทำโดยสมาคมนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาคีแห่งสหรัฐอเมริกา (American conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH) ตั้งแต่ปีพ.ศ. ๒๔๙๑ (ค.ศ. 1948) โดยคำนึงถึงผลกระทบต่อสุขภาพเป็นหลัก และไม่คำนึงถึงความเหมาะสมทางเศรษฐกิจและความเป็นไปได้ทางเทคนิค ค่า TLVs แบ่งเป็น ๓ ประเภท ได้แก่ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยในระยะสัมผัสสารเคมีแบบในสถานประกอบการเป็น ๘ ชั่วโมง/วัน หรือ ๔๐ วัน/อาทิตย (Time-weight Average: TWA) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน ระยะเวลาใด ๆ (Ceiling) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน ในระยะเวลาสั้น ๆ (๑๕ นาที) โดยปราศจากการระคายเคือง ผลกระทบเรื้อรัง หรือการเสียหายอย่างถาวรกับเนื้อเยื่อ หรือการหมดสติ (Short Term Exposure Limit: STEL) (ACGIH, 2004)

๓.๒.๒) ค่าความเข้มข้นสารเคมีที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศ (Permissible Exposure Limits: PELs) ค่า PELs เป็นค่ามาตรฐานขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่มีผลทางกฎหมายที่จัดทำโดยสำนักงานบริหารความปลอดภัยในอาชีพและสุขภาพแห่งสหรัฐอเมริกา (OSHA) ตั้งแต่ปีพ.ศ. ๒๕๑๔ (ค.ศ. 1971) โดยอ้างอิงจากค่า TLVs และกำหนดค่า PEL เป็น ๓ ประเภท ได้แก่ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน ๘ ชั่วโมง/วัน หรือ ๔๐ วัน/อาทิตย (Time-weight Average: TWA) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน ระยะเวลาใด ๆ (Ceiling) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงานในระยะเวลาดสั้น ๆ (๑๕ นาที) โดยปราศจากการระคายเคือง ผลกระทบเรื้อรัง หรือการเสียหายอย่างถาวรกับเนื้อเยื่อ หรือการหมดสติ (Short Term Exposure Limit: STEL) (OSHA, 1988)

๓.๒.๓) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศการทำงานที่อาจเป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพ หากไม่สามารถหนีออกจากบริเวณนั้นได้ทันภายใน ๓๐ นาที (Immediately Dangerous to Life and Health: IDLH) ค่า IDLH เป็นค่าที่จัดทำโดยสถาบันด้านความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งสหรัฐอเมริกา (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) และสำนักงานบริหารความปลอดภัยในอาชีพและสุขภาพแห่งสหรัฐอเมริกา (OSHA) ในช่วงปีพ.ศ. ๒๕๑๗ (ค.ศ. 1974) เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเลือกอุปกรณ์ช่วยหายใจ (respirators) สำหรับพนักงาน กรณีเกิดเหตุสารเคมีรั่วไหล และในกรณีระหว่างการทำงานที่ได้รับสัมผัสสารเคมี (NIOSH/OSHA, 1981)

๓.๒.๔) ค่าความเข้มข้นสารเคมีที่เสนอแนะให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน (Recommended Exposure Limits: RELs) ค่า RELs เป็นค่าที่จัดทำโดยสถาบันแห่งชาติเพื่อความปลอดภัยและอาชีวอนามัย (National Institute for Occupational Safety and Health: NIOSH) ในปี พ.ศ. ๒๕๓๑ - ๒๕๓๘ (ค.ศ. 1988-1995) เป็นค่าความเข้มข้นสารเคมีที่ NIOSH เสนอแนะเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งและอันตรายต่อสุขภาพของพนักงานในสถานประกอบการ โดยค่า RELs แบ่งเป็น ๓ ประเภท ได้แก่ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารเคมีในบรรยากาศการทำงาน ๑๐ ชั่วโมง/วัน หรือ ๔๐ วัน/อาทิตย (Time-weight Average: TWA) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน ณ เวลาใด ๆ (Ceiling) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในบรรยากาศการทำงาน ในระยะเวลาสั้น ๆ (๑๕ นาที) โดยปราศจากการระคายเคือง ผลกระทบเรื้อรัง หรือการเสียหายอย่างถาวรกับเนื้อเยื่อ หรือการหมดสติ (Short Term Exposure Limit: STEL) (NIOSH/OSHA, 1981)

๓.๒.๕) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศ โดยเชื่อว่าประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับสัมผัสได้ถึง ๑ ซม. โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Emergency Response Planning Guidelines: ERPGs) ค่า ERPGs เป็นค่าที่จัดทำโดยสมาคมสุขศาสตร์อุตสาหกรรมแห่งสหรัฐอเมริกา (American Industrial Hygiene Association: AIHA) ในปี พ.ศ. ๒๕๓๑ (ค.ศ. 1988) เพื่อประกอบการบ่งชี้กลุ่มประชากรที่อาจได้รับผลกระทบสำหรับการจัดทำแผนฉุกเฉิน สารเคมีรั่วไหล ปัจจุบัน (เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. ๒๕๕๔) สารเคมีที่มีค่า ERPGs มีทั้งหมด ๑๔๔ ชนิด (Cavender et al., 2008)

๓.๒.๖) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ประชาชน (รวมถึงประชากรกลุ่มเสี่ยง) สามารถรับสัมผัสได้ทุกวันในระยะเวลาที่กำหนด โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบไม่ก่อมะเร็ง (Minimal Risk Levels: MRLs) ค่า MRLs เป็นค่าที่จัดทำโดยสำนักงานทะเบียนโรคและสารพิษ (ATSDR) ร่วมกับองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) เริ่มตั้งแต่ปีพ.ศ. ๒๕๓๒ (ค.ศ. 1989) ค่า MRLs มีการจัดทำขึ้นสำหรับการรับสัมผัสแบบเฉียบพลัน (๑-๑๔ วัน) แบบปานกลาง (๑๕-๓๖๕ วัน) และแบบเรื้อรัง (≥ 365 วัน) สำหรับการรับสัมผัสทางการหายใจและการกิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นระดับในการบ่งชี้สารปนเปื้อนที่สำคัญและผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเป็นอันตรายจากบริเวณที่มีของเสียอันตราย (hazardous waste sites) (OECD, 2011)

๓.๒.๗) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ประชาชนสามารถรับสัมผัสได้เป็นเวลา ๑ ชั่วโมง โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต หรือรุนแรงและไม่สามารถกลับคืนได้ดั้งเดิม (Störfallbeurteilungswerte หรือ Acute Exposure Guideline Level) ค่า SBW หรือ ค่า AEGL เป็นค่าที่จัดทำโดยสมาคมอุตสาหกรรมเคมีแห่งประเทศไทย (Verband der chemischen Industrie, VCI) ในปี พ.ศ. ๒๕๓๓ (ค.ศ. 1990) โดยเป็นร่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีที่จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นค่าความเข้มข้นสารเคมีสำหรับการประเมินอันตรายจากเหตุฉุกเฉินสารเคมี ค่าขีดจำกัดรับสัมผัสสารเคมีนี้เป็นค่าสำหรับการรับสัมผัสเป็นเวลา ๖๐ นาทีและเป็นระดับที่ไม่ส่งผลกระทบ

ต่อสุขภาพร้ายแรงถึงชีวิตหรือที่ไม่หายกลับคืนได้ดั้งเดิม ซึ่งเทียบเท่ากับค่าที่อยู่ระหว่าง ERPG-2 และค่า ERPG-3 (Umweltbundesamt, 1990)

๓.๒.๘) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรงสำหรับกรณีเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (Emergency exposure indices: EEIs) ค่า EEIs เป็นค่าที่จัดทำโดยศูนย์พิษวิทยาและพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมจากสารเคมีแห่งยุโรป (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals: ECETOC) ในปีพ.ศ. ๒๕๓๔ (ค.ศ. 1991) ซึ่งค่า EEIs ดังกล่าวมีลักษณะโดยทั่วไปเหมือนกับค่า AEGLs และมีการกำหนดระยะเวลาสัมผัสที่ระยะต่าง ๆ เช่น ๑๕ นาที ๓๐ นาที ๑ ชั่วโมง เป็นต้น (ECETOC, 1991)

๓.๒.๙) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ประชาชน (รวมถึงประชากรกลุ่มเสี่ยง) สามารถรับสัมผัสทางการหายใจเข้าได้ทุกวันตลอดช่วงชีวิต และเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (ที่ไม่ใช่มะเร็ง) (Reference concentration: RfC) ค่า RfC เป็นค่าที่จัดทำโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ตั้งแต่ปีพ.ศ. ๒๕๓๗ (1994) โดยเป็นค่าประมาณการจากความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเป็นพิษและปริมาณสารเคมี (dose-response) ซึ่งอาจรวมถึงค่าความไม่แน่นอนเป็น ๑๐ เท่า (an order of magnitude) และมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการประเมินความเสี่ยงโดยไม่มีผลทางกฎหมาย (U.S. EPA, 1994)

๓.๒.๑๐) ค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ประชาชนสามารถรับสัมผัสได้เป็นเวลา ๔ ชั่วโมง โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (Einsatztoleranzwerte: ETW) ค่า ETW เป็นค่าที่จัดทำโดยมหาวิทยาลัยเทคนิคแห่งมิวนิกให้กับกระทรวงมหาดไทยแห่งเยอรมัน (Bundesamt für Zivilschutz) ในช่วงปีพ.ศ. ๒๕๓๘/๙ (ค.ศ. 1995/1996) โดยเป็นร่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีที่จัดทำขึ้นสำหรับหน่วยดับเพลิง สำหรับระดับผลกระทบเพียงระดับเดียวคือระดับที่ไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพและระยะสัมผัสช่วงเดียว (FACD, 1995)

๓.๒.๑๑) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศ โดยเชื่อว่าประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ถึง ๑ ชม. แล้วไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) ค่า AEGLs เป็นค่าที่จัดทำโดยคณะกรรมการที่ปรึกษาแห่งชาติเพื่อการจัดทำค่า AEGL (National Advisory committee for Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Substances: NAC/AEGL Committee) ในปี พ.ศ. ๒๕๔๐ (ค.ศ. 1997) สำหรับใช้ในการวางแผนฉุกเฉิน การป้องกัน และการตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมี เพื่อการปกป้องประชาชน (รวมถึงประชากรกลุ่มเสี่ยง) ที่อาจได้รับสัมผัสสารเคมีจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล โดยกำหนดเป็นค่า Community Emergency Exposure Levels (CEELs) แล้วเปลี่ยนเป็นค่า AEGLs ในเวลาต่อมา ปัจจุบันสารเคมีที่มีค่า AEGLs มีอยู่ทั้งหมด ๒๖๙ ชนิด (หรือเมื่อนับซ้ำ ๒๕๖ ชนิด) เป็นกลุ่มที่สิ้นสุดการทบทวนแล้ว (final) ๗๕ ชนิด และอยู่ระหว่างการทบทวน (interim) ๑๙๔ ชนิด และกำหนดช่วงระยะเวลาสัมผัสสารเป็น ๕ ช่วง ได้แก่ ๑๐ นาที ๓๐ นาที ๑ ชั่วโมง ๔ ชั่วโมง และ ๘ ชั่วโมง (U.S. EPA, 2012)

ค่า AEGLs เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อเป็นแนวทางสำหรับสถานการณ์ที่เกิดได้ยากและอาจเกิดอย่างไม่คาดฝันซึ่งอาจส่งผลให้ประชาชนทั่วไปเกิดการรับสัมผัสสารได้ ซึ่งแตกต่างจากค่า PELs ค่า TLVs ค่า WEELs ค่า RELs หรือค่า MAKs เป็นต้น เนื่องจากเป็นค่าที่คำนวณจากข้อมูลความเป็นพิษเฉียบพลันไม่ใช่พิษเรื้อรังหรือกึ่งเรื้อรัง ดังนั้น ค่า AEGLs จึงไม่สะท้อนถึงผลกระทบจากการรับสัมผัสสารเคมีบ่อยครั้ง และยังเป็นค่าความเป็นพิษที่คำนึงถึงผลกระทบต่อประชาชนทั่วไปรวมถึงเด็ก และคนชรา ซึ่งเป็นกลุ่มที่ไม่รวมอยู่ในการกำหนดค่าขีดจำกัดความปลอดภัยต่อพนักงาน

๓.๒.๑๒) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ตามระยะเวลาที่กำหนด (๒๔ ชั่วโมง) โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (Acute Reference Exposures: AREs) ค่า AREs เป็นค่าที่จัดทำโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US EPA) ในปีพ.ศ. ๒๕๔๑ (ค.ศ. 1998) เพื่อเป็นร่างแนวทางการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลันขึ้น โดยให้นิยามพิษแบบเฉียบพลันเป็นภายในระยะเวลา ๒๔ ชั่วโมงและอาจกำหนดค่าสำหรับการรับสัมผัสสารหลายๆช่วงเวลาได้ สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพกรณีเกิดการรั่วไหลสารเคมีขึ้น (Strickland JA and GL Foureman, 2002)

๓.๒.๑๓) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ถึง ๑ ชม. โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Temporary Emergency Exposure Limits: TEELs) ค่า TEELs เป็นค่าที่จัดทำโดยคณะกรรมการประเมินผลกระทบและการปกป้องสาธารณสุข (Subcommittee on Consequence Assessment and Protective Actions: SCAPA) ของกรมพลังงานแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (Department of Energy: DOE) ในปีพ.ศ. ๒๕๔๑ (ค.ศ. 1998) ค่า TEELs เป็นค่าที่กำหนดขึ้นชั่วคราวสำหรับกรณีที่มีค่า AEGLs และค่า ERPGs ปัจจุบัน (เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๕๕) สารเคมีที่มีค่า TEELs มีทั้งหมด ๓๓๘๗ ชนิด (U.S. DOE, 2008)

๓.๒.๑๔) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ตามระยะเวลาที่กำหนด (เฉลี่ย ๑ ชั่วโมง) โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน (Acute Reference Exposure Limits: AREL) ค่า ARELs เป็นค่าที่จัดทำโดยสำนักงานการประเมินอันตรายด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา (Cal EPA) ในปี พ.ศ. ๒๕๔๒ (ค.ศ.1999) โดยอิงข้อมูลความเป็นอันตรายต่อสุขภาพที่มีความไวที่สุดและเกี่ยวข้องที่สุดจากเอกสารทางพิษวิทยาและทางการแพทย์ จึงเป็นขีดจำกัดรับสัมผัสสารเคมีที่ปกป้องประชาชนรวมถึงประชาชนกลุ่มเสี่ยงโดยใช้ส่วนเผื่อความปลอดภัย (margins of safety) เข้าไปด้วย การใช้ส่วนเผื่อความปลอดภัย (margins of safety) เพื่อให้ครอบคลุมถึงประเด็นความไม่แน่นอน และการมีข้อมูลไม่ครบถ้วน หมายถึงการที่พบค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศสูงกว่าค่า RELs ไม่ได้หมายความว่าต้องได้เห็นผลกระทบต่อสุขภาพเสมอไป (Cal EPA, 1999)

๓.๒.๑๕) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่ประชาชน (รวมทั้งประชากรกลุ่มเสี่ยง) สามารถรับสัมผัสได้ในช่วงระยะเวลาสั้นกว่าหรือเท่ากับ ๒๔ ชั่วโมง โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพตลอดช่วงชีวิต (Acute Reference Concentration: ARfC) เป็นค่าที่จัดทำโดยองค์การเพื่อความร่วมมือทางเศรษฐกิจและการพัฒนา (Organization for Economic Co-operation and Development: OECD) ในปี

พ.ศ. ๒๕๕๔ (ค.ศ. 2011) ค่า ARFC เป็นค่าที่มีลักษณะเป็นค่าสูงสุด (Ceiling Value) ที่อาจพบในช่วงเวลา ๒๔ ชั่วโมง ไม่ใช่ค่าเฉลี่ย (Time-weight average) ตลอดระยะเวลา ๒๔ ชั่วโมง การกำหนดค่า ARFC มีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันที่สามารถนำไปประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพแบบไม่ก่อมะเร็งโดยใช้หลักการ Hazard Quotient และนำไปใช้ค่าเสนอแนะสำหรับการวางแผนตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมีได้ OECD ได้จัดทำค่า ARFC สำหรับสารเคมี ๔ ชนิดได้แก่ Ethylene Oxide, Sulfur dioxide, phosgene และ Hexachlorocyclopentadiene (OECD, 2011)

๓.๒.๑๖) ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่บุคลากรทางทหารสามารถรับสัมผัสได้ในระหว่างการปฏิบัติงานในช่วงเหตุฉุกเฉินในช่วงระยะเวลาสั้นกว่าหรือเท่ากับ ๑ หรือ ๒๔ ชั่วโมง โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันหรือไม่ทำให้โอกาสการเกิดมะเร็งเพิ่มขึ้นมากกว่า ๑ ใน ๑๐,๐๐๐ (Emergency Exposure Guidance Levels: EEGLs) และค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่บุคลากรทางทหารสามารถรับสัมผัสได้ในระหว่างการปฏิบัติงานในช่วงเหตุฉุกเฉินในระยะเวลาสั้นกว่าหรือเท่ากับ ๙๐ วัน โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ (Continuous Exposure Guidance Levels: CEGLs) เป็นค่าที่จัดทำโดยคณะกรรมการด้านพิษวิทยาภายใต้สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติด้านพิษวิทยาและอันตรายจากอนามัยสิ่งแวดล้อม (Committee on Toxicology, National Research Council's Board on Environmental Health Hazard) ในปี พ.ศ. ๒๕๕๔ (ค.ศ. 1986) โดยกำหนดเฉพาะสารเคมีที่กระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกาให้ความสำคัญ โดยสภาวิทยาศาสตร์แห่งสหรัฐอเมริกาให้นิยามค่า EEGLs ว่าเป็นค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศที่กระทรวงกลาโหมแห่งสหรัฐอเมริกายอมให้ทหารในเรือดำน้ำรับสัมผัสได้ในขณะทำงานเฉพาะทางระหว่างเกิดเหตุฉุกเฉินในระยะ ๑ ชั่วโมง หรือ ๒๔ ชั่วโมง และ ๙๐ วัน สำหรับค่า CEGLs และให้นิยาม “เหตุฉุกเฉิน” หมายถึง เหตุที่เกิดขึ้นอย่างไม่คาดฝันและมีโอกาสทำให้เสียชีวิตได้ นอกจากนี้ ค่า EEGLs ไม่ได้กำหนดขึ้นเพื่อปกป้องประชาชนทั่วไปแต่กำหนดขึ้นเพื่อปกป้องทหารหรือบุคลากรทางทหารในกรณีการทำงานในภาวะเหตุฉุกเฉิน (NRC, 1986)

๓.๓) กระบวนการจัดทำค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน

กระบวนการจัดทำค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีโดยทั่วไปจัดทำขึ้นโดย (๑) เลือกค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์เป็น “ค่าเริ่มต้น (POD: Point of Departure)” ซึ่งได้ข้อมูลมาจากการทดลองในสัตว์หรือจากข้อมูลทางระบาดวิทยาในมนุษย์ (๒) ปรับค่าเริ่มต้น (POD) ให้เหมาะสมด้วยค่าปัจจัยปริมาณสาร (Dosimetric Adjustment) (๓) ปรับค่าเริ่มต้น (POD) ให้เหมาะสมด้วยค่าปัจจัยระยะสัมผัส (Duration Adjustment) (๔) ปรับค่าเริ่มต้น (POD) ให้เหมาะสมด้วยค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors: UFs) ได้แก่ ความหลากหลายภายในเผ่าพันธุ์มนุษย์ (UF_H) ความไม่แน่นอนจากการใช้ข้อมูลจากสัตว์ทดลอง (UF_A) ความไม่แน่นอนจากการใช้ค่า LOAEL แทนค่า NOAEL (UF_L) ความไม่แน่นอนจากการใช้ข้อมูลความเป็นพิษจากระยะสัมผัสที่ยาวนานกว่าแบบเฉียบพลัน (UF_S) ความไม่สมบูรณ์ของข้อมูลพิษวิทยา (UF_D) และความไม่สมบูรณ์และน่าเชื่อถือของข้อมูลโดยรวม (MF) โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ตารางที่ ๑ ขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีตามลักษณะการรับสัมผัสสาร

| ขีดจำกัดการรับสัมผัสสาร | หน่วยงาน | ลักษณะการรับสัมผัสสาร | ระยะเวลาสัมผัส |
|---|-----------------------|---|--|
| TLV-TWA (Threshold Limit Value) | ACGIH | บรรยากาศการทำงาน | 8 ชม. (TWA) |
| TLV-STEL (TLV Short-Term Exposure Limit) | ACGIH | บรรยากาศการทำงาน | 15 นาที (TWA) |
| TLV -PEL (TLV Permissible Exposure Limit) | OSHA | บรรยากาศการทำงาน | 8-h (TWA) |
| TLV-Ceiling | OSHA | บรรยากาศการทำงาน | ≤10 นาที |
| TLV -REL (Recommended Exposure Limit) | NIOSH | บรรยากาศการทำงาน | 8-ชม (TWA) |
| TLV-STEL (Short-Term Exposure Limit) | NIOSH | บรรยากาศการทำงาน | 15 นาที (TWA) |
| IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) | NIOSH | บรรยากาศการทำงาน | ≤ 30 นาที |
| AEGL (Acute Exposure Guideline Level) | NAC/AEGL; COT/AEGL | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (ประชาชนทั่วไป) | 10- และ 30-นาที; 1-, 4- and 8-ชม |
| ERPG (Emergency Response Planning Guideline) | AIHA | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (ประชาชนทั่วไป) | 1-ชม. |
| TEEL (Temporary Emergency Exposure Level) | DOE | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (ประชาชนทั่วไป) | 1-ชม. |
| ERG (Emergency Response Guidebook) | DOT | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (ประชาชนทั่วไป) | 1-ชม. เพื่อพิจารณากำหนด ระยะทางที่ต้องมีการอพยพ |
| EEGL (Emergency Exposure Guidance Level) | NRC/DOD | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (บุคลากรทางทหาร) | 1-ชม. และ 24-ชม. |
| CEGL (Continuous Exposure Guidance Level) | NRC/DOD | เหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล (บุคลากรทางทหาร) | 90-วัน |
| MRL (Minimal Risk Level) | ATSDR | บรรยากาศทั่วไป (ประชาชนทั่วไป) | 1-14 วัน (เฉียบพลัน); 15-364 วัน (ระยะปาน กลาง); >365 วัน (เรื้อรัง) |
| REL (Reference Exposure Level) | OEHHA | บรรยากาศทั่วไป (ประชาชนทั่วไป) | 1-ชม., 8-ชม., และเรื้อรัง |
| ARfC (Acute Reference Concentration) | OECD | บรรยากาศทั่วไป (ประชาชนทั่วไป) | < 24-ชม. |

โดย ACGIH = American Conference of Governmental Industrial Hygienists
 AEGL = Acute Exposure Guideline Levels
 AIHA = American Industrial Hygiene Association
 ATSDR = Agency for Toxic Substances and Disease Registry
 COT = Committee on Toxicology of the National Academy of Sciences
 DOE = Department of Energy; DOD = Department of Defence
 DOT = Department of Transportation
 NAC = National Advisory Committee
 NIOSH = National Institute for Occupational Safety and Health
 OECD = Organization for Economic Cooperation and Development
 OEHHA = Office of Environmental Health Hazard Assessment
 OSHA = Occupational Safety and Health Administration
 PCD = Pollution Control Department

๓.๓.๑) เลือกค่าเริ่มต้น (POD: Point of Departure)

ค่าเริ่มต้น (POD) ซึ่งเป็นข้อมูลค่าความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศที่แสดงถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการทดลองในสัตว์หรือจากข้อมูลทางระบาดวิทยาในมนุษย์ โดยอาจเป็นระดับที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ หรือระดับที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเพียงเล็กน้อย ซึ่งที่มาของค่าเริ่มต้น (POD) สำหรับการจัดทำค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน และแนวปฏิบัติเพื่อปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ ดังนี้

(๑) วิธีการใช้ค่า NOAEL (No-Observed-Adverse-Effect Level Approach)

วิธีการนี้ขึ้นอยู่กับทางเลือกระดับการรับสัมผัสสารที่ไม่พบว่าเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ค่าเริ่มต้นในอุดมคติสำหรับการนำมาใช้ดังกล่าว คือค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารที่ไม่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ (NOAEL: No-observed adverse-effect level) หรือค่าความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่พบก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์ LOAEL (Lowest-observed-adverse-effect level) หากไม่มีค่า NOAEL ที่เลือกจากการศึกษาที่ได้ค่า NOAEL ที่อ่อนไหวที่สุด (ต่ำสุด) โดยผลกระทบต่อสุขภาพจากการศึกษาที่ได้ค่า NOAEL ต่ำสุดถือว่าเป็นผลกระทบต่อสุขภาพที่สำคัญมาก (critical) และค่า NOAEL ที่ได้จากการศึกษาดังกล่าวอาจถือเป็น “ค่าเริ่มต้น (POD: Point of Departure)” ในการนำไปใช้คำนวณขีดจำกัดการรับสัมผัสสารต่อไป โดยมีการปรับค่า NOAEL ให้เหมาะสมจากปริมาณที่ได้จากการทดลองในสัตว์ทดลองเป็นค่า NOAEL ที่ควรจะเป็นในมนุษย์ (NOAEL human equivalent concentration: NOAELHEC) และใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors: UFs) ปรับอีกครั้งเพื่อกำหนดเป็นค่า ARfC ถ้าใช้ค่า LOAELHEC แทนค่า NOAELHEC ให้ใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนที่เหมาะสม นอกจากนี้ อาจมีการใช้ค่า UFs เพื่อครอบคลุมถึงความหลายหลายในกลุ่มประชากร หรือความไม่หนักแน่นของฐานข้อมูล

วิธีการ NOAEL approach นี้ยังนำไปใช้ในการกำหนดค่าความเข้มข้นสารเคมีในน้ำดื่มที่ประชาชน (รวมถึงประชากรกลุ่มเสี่ยง) สามารถดื่มได้ทุกวันตลอดช่วงชีวิต หรือดื่มได้ ๑-วัน หรือดื่มได้ ๑๐-วัน หรือดื่มได้ ๙๐-วัน โดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพที่ไม่ใช่มะเร็ง (Reference Dose: RfD) ข้อวิพากษ์สำหรับวิธีนี้ คือการใช้ค่าเริ่มต้น (POD) ในการคำนวณมาจากจุดข้อมูลจุดหนึ่ง (single data point) โดยไม่ได้คำนึงถึงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและผลกระทบต่อสุขภาพ จำนวนสัตว์ทดลองต่อกลุ่ม และความแปรปรวนทางสถิติ (OECD, 2011)

(๒) วิธีการใช้ค่า Benchmark (Benchmark Concentration Approach)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ระหว่างความเข้มข้นสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพสามารถนำมาใช้ในการหาค่าเริ่มต้น (POD) ในการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัส วิธีการหาค่าความเข้มข้นสารเคมีที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอันไม่พึงประสงค์เพิ่มขึ้นจากระดับปกติ “benchmark concentration: BMC” ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี.ศ. ๒๕๒๗ (ค.ศ. 1984) และมีการพัฒนาซอฟต์แวร์และนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยการจัดทำค่า BMC มีกระบวนการคือ การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีข้อมูลค่าความเข้มข้นสารเคมีที่สอดคล้องกับผลกระทบต่อสุขภาพในระดับที่กำหนด ซึ่งจัดเป็นกลุ่มตามระยะเวลาสัมผัสเข้าสู่ร่างกาย แล้วเลือกผลกระทบต่อสุขภาพในระดับที่กำหนดหรือระดับความเสี่ยงที่

กำหนด (Benchmark Risk: BMR) เช่น ผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์เพิ่มขึ้น ๑๐ เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น (OECD, 2011)

ค่าเริ่มต้น (POD) จากวิธี Benchmark เริ่มต้นด้วยการเลือกค่า BMC ที่ระดับความเชื่อมั่นล่างที่ ๙๕ เปอร์เซ็นต์ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพหรือความเสี่ยงเพิ่มจากปกติ ๑๐ เปอร์เซ็นต์ (Benchmark Concentration Lower Bounds: BMCL10) โดยนำไปใช้ในลักษณะเดียวกับค่า NOAEL ที่บ่งชี้ว่าผลกระทบต่อสุขภาพ (effect level) ดังกล่าวมีความใกล้เคียงต่อระดับที่เริ่มต้นก่อให้เกิดผลกระทบแบบไม่พึงประสงค์ (adverse effect) และเมื่อสมมติว่าผลกระทบแบบไม่พึงประสงค์นั้นเป็นขั้นต่ำสุด (OECD, 2011) เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้ค่า NOAEL แล้ว วิธีการใช้ค่า BMC มีข้อดีกว่าคือ (๑) ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนกรณีที่ไม่มีค่า NOAEL (๒) ใช้ข้อมูลจากเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสารเคมีและผลกระทบต่อสุขภาพที่ไม่พึงประสงค์เชิงปริมาณโดยตรง (๓) ไม่ได้รับผลกระทบจากรูปแบบการทดลอง (เช่น ระดับปริมาณสาร เป็นต้น) และ (๔) ไวต่อขนาดของกลุ่มตัวอย่าง นอกจากนี้ ค่า BMC ยังคำนึงถึงความหลากหลายของผลกระทบต่อสุขภาพที่พบจากการทดลองเมื่อมีการใช้ตัวแปรแบบต่อเนื่อง เช่น อัตราการหายใจ เป็นต้น (OECD, 2011)

(๓) วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม (Categorical Regression Approach)

วิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม (Categorical Regression Approach) เป็นวิธีการที่แตกต่างจากการใช้ค่า NOAEL และค่า BMC เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงกลุ่ม ได้แก่ การวิเคราะห์ถดถอยผลกระทบต่อสุขภาพที่แบ่งกลุ่มตามระดับความรุนแรง เช่น ไม่มีผลกระทบ ผลกระทบไม่รุนแรง ผลกระทบรุนแรง เป็นต้น จากข้อมูลเชิงชีวภาพและนัยสำคัญทางสถิติ วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทั้งแบบสองประเภท เชิงคุณภาพ และแบบต่อเนื่อง โดยมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ในการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม เช่น CatReg เป็นต้น

ค่าเริ่มต้น (POD) จากวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม (CatReg) เริ่มต้นด้วยการเลือกค่า ERC10-L ค่าความเข้มข้นที่ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพเพิ่มจากปกติ ๑๐ เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความเชื่อมั่นล่างที่ ๙๕ เปอร์เซ็นต์ (Extra Risk Concentration10-Lower: ERC10-L) โดยนำไปใช้ในลักษณะเดียวกับค่า BMCL ที่บ่งชี้ว่าผลกระทบต่อสุขภาพดังกล่าวมีความใกล้เคียงต่อระดับที่เริ่มต้นก่อให้เกิดผลกระทบแบบไม่พึงประสงค์ (adverse effect) และสมมติว่าผลกระทบแบบไม่พึงประสงค์นั้นเป็นขั้นต่ำสุด (OECD, 2011) ข้อดีของวิธีนี้คือ (๑) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลทั้งแบบสองประเภท เชิงคุณภาพ และแบบต่อเนื่อง ในเวลาเดียวกันได้ (๒) สามารถวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาหลายชุดพร้อมกันได้ (๓) สามารถสร้างความสัมพันธ์เชิงปริมาณระหว่างความเข้มข้นสารเคมี-ระยะเวลาสัมผัส อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของวิธีการนี้คือการสูญเสียรายละเอียดของข้อมูลเชิงปริมาณ เนื่องจากการนำมาจัดกลุ่มตามระดับความรุนแรงของผลกระทบ และความลำเอียงจากความคิดเห็นส่วนตัวของผู้จัดกลุ่ม (OECD, 2011)

(๔) วิธีการอื่นๆ (Other Approaches)

วิธีการอื่นนอกเหนือจากวิธีดังกล่าวข้างต้น ยังมีวิธีแบบ Meta-analytical ที่ดึงข้อมูลจากการศึกษาหลายๆชุดในการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพคล้ายคลึงเดียวกันเพื่อหาค่า BMC วิธีนี้ขึ้นอยู่กับกรณีที่มีข้อมูลที่เพียงพอถึงระดับแต่ละ subject เนื่องจากต้องมีการรวบรวมค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ค่าที่

แสดงผลกระทบ และค่าแสดงความผันแปรทางสถิติ (OECD, 2011) ตัวอย่างค่าเริ่มต้นในการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสาร (POD) ที่กำหนดโดยวิธีนี้ ได้แก่ ค่า POD สำหรับ ethylene oxide

วิธีแบบ Bayesian approach เป็นการดึงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารและผลกระทบต่อสุขภาพจากการศึกษาหนึ่งการศึกษาเป็นหลัก แล้วนำข้อมูลผลกระทบที่พบและความผันแปรทางสถิติจากการศึกษาอื่นมาเปรียบเทียบแล้วปรับค่าให้เหมาะสมด้วยหลักสถิติ Bayesian กระบวนการดังกล่าวจะมีการทำซ้ำจนกว่าข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะมีการพิจารณา ข้อมูลที่นำมาใช้ต้องเป็นข้อมูลเชิงปริมาณและไม่เหมาะที่จะประเมินเชิงกลุ่ม วิธีการนี้อยู่ระหว่างการพัฒนาแนวปฏิบัติในการประยุกต์ใช้

วิธีการเลือกค่าเริ่มต้น (POD) แบบวิธีการใช้ค่า BMC และวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม (CatReg) เป็นวิธีที่เหมาะสมในการนำไปใช้หากมีข้อมูลสมบูรณ์เพียงพอมากกว่าวิธีการใช้ค่า NOAEL เนื่องจากวิธีการดังกล่าวใช้ข้อมูลพิษวิทยาทั้งหมดในการประเมินทางสถิติและชีวภาพได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารและผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่าข้อมูลเพียงจุดเดียว ส่วนวิธีการใช้ค่า BMC และวิธีการใช้ค่า NOAEL เป็นการนำข้อมูลจากการศึกษาเพียงจุดเดียวในการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี อย่างไรก็ตาม กรณีที่ไม่มีข้อมูลด้านพิษวิทยาที่เพียงพอสำหรับการใช้วิธี Dose-Response หรือวิธีการใช้ค่า BMC หรือวิธีการวิเคราะห์ถดถอยเชิงกลุ่ม สามารถใช้วิธีการใช้ค่า NOAEL ได้

๓.๓.๒ ปรับค่าเริ่มต้น (POD) ด้วยค่าปัจจัยปริมาณสาร (Dosimetric Adjustment)

กระบวนการในขั้นตอนนี้เป็นการปรับค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ได้จากการทดลองในสัตว์ให้เป็นความเข้มข้นเทียบเท่าสำหรับมนุษย์ (Human Equivalent Concentration: HEC) สำหรับสารเคมีทั้งในรูปก๊าซ (ไอระเหย) และฝุ่นละออง (สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า ๐.๕ ไมโครเมตร จะมีกลไกการสะสมแพร่กระจายคล้ายคลึงกับก๊าซ) จุดประสงค์ของการปรับค่าความเข้มข้น ก็เพื่อให้สามารถประมาณการค่าปริมาณสารที่พบในอวัยวะเป้าหมายจากความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศสำหรับมนุษย์ (HEC)

การคำนวณค่า HEC โดยทั่วไปมาจากการใช้ค่า DAF (dosimetric adjustment factor) ปรับค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ทดลอง ดังสมการ ๑ โดยค่าที่พอลท์ DAF ของก๊าซที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันในสัตว์ทดลองเพื่อกำหนดค่า HEC มีค่าเท่ากับ ๑

$$\text{สมการ ๑} \quad \text{ความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพสัตว์ทดลอง (mg/m}^3\text{)} \times \text{DAF} = \text{HEC}$$

วัตถุประสงค์ในการปรับค่าปริมาณสารเป็นการปรับเพื่อรองรับความแตกต่างระหว่างแผ่นพื้นผิวของความเข้มข้นสารเคมีที่เมื่อรับเข้าสู่ร่างกายแล้วให้ความเข้มข้นที่อวัยวะเป้าหมายและมีความเสี่ยงต่อสุขภาพเท่ากัน อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มนุษย์และสัตว์ทดลองได้รับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศอย่างเป็นระบบ (ก๊าซที่แพร่ไปยังอวัยวะเป้าหมายโดยตรงไม่เพียงเบน) หลักฐานจากการทดลองแสดงว่าค่าการกระจายตัวของในเลือด/ก๊าซ (Hb/g) มีความคล้ายคลึงกันระหว่างในมนุษย์และสัตว์ทดลอง ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าเป็นสถานะคงที่ ความเข้มข้นของก๊าซมีพฤติกรรมคล้ายคลึงกันสำหรับมนุษย์และสัตว์ทดลอง (OECD, 2011)

ความแตกต่างระหว่างแผ่นพื้นผิวมักพบในกรณีก่อนเกิดสถานะคงตัว (steady state) ปัจจัยการเกิดสถานะคงตัวของก๊าซขึ้นอยู่กับระยะเวลาและอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ปอด (alveolar

ventilation rate) เช่น ๔.๒ ลิตรต่อนาที ทั้งนี้ อัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซ (alveolar ventilation rates) จะผันแปรตามน้ำหนักตัวยกกำลัง $\frac{3}{4}$ ($BW^{3/4}$) โดยสัตว์ที่มีน้ำหนักตัวน้อยจะมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซสูงกว่าสัตว์ที่มีน้ำหนักตัวมาก ยกตัวอย่างความสัมพันธ์ดังกล่าวได้ดังนี้ มนุษย์ที่น้ำหนักตัว ๗๐ กิโลกรัม มีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ ๔๒๐๐ มิลลิลิตร/นาที จะให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซเท่ากับ ๖๐ มิลลิลิตร/กิโลกรัม ในขณะที่ หนู rat น้ำหนักตัว ๐.๓ กิโลกรัมมีอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซที่ ๗๐ มิลลิลิตร/นาที จะให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนก๊าซเท่ากับ ๒๓๐ มิลลิลิตร/กิโลกรัม หรือเกือบ ๔ เท่าของมนุษย์ (OECD, 2011)

ความแตกต่างของอัตราการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างเผ่าพันธุ์ข้างต้นแสดงว่า ก๊าซเข้าสู่ร่างกายหนู rat ได้เร็วกว่าทำให้เกิดสภาวะคงตัวได้เร็วกว่าในมนุษย์ การเข้าถึงสภาวะคงตัวได้เร็วกว่าในหนู rat แสดงว่า ณ เวลาใด ๆ ก่อนถึงสภาวะคงตัว ความเข้มข้นในร่างกายหนู rat จะสูงกว่าที่พบในร่างกายมนุษย์ จากความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่เท่ากัน สภาวะดังกล่าวมักเกิดในระยะแรกของการรับสัมผัสสารและอาจสอดคล้องกับการรับสัมผัสแบบเฉียบพลันได้

ความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ในระยะแรกของการรับสัมผัสดังกล่าวสามารถปรับได้ด้วยการปรับค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศ เพื่อเป็นการชดเชยปริมาณสารในร่างกายมนุษย์ที่ต่ำกว่า โดยการหายใจเอาสารเคมีในบรรยากาศที่ความเข้มข้นสูงขึ้น สำหรับก๊าซที่มีการแพร่กระจายอย่างเป็นระบบ และที่มีความเป็นพิษอย่างเป็นระบบ ข้อมูลจากการศึกษาพบว่าอัตราส่วนของสารเคมีในเลือดต่ออากาศ (Hb/g)A ในสัตว์จะสูงกว่าที่พบในมนุษย์ (Hb/g)H

อย่างไรก็ตาม แทนที่จะปรับตามความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์นั้น การใช้สมมติฐานว่าปริมาณสารเคมีในมนุษย์มีค่าน้อยเท่ากับปริมาณสารเคมีที่พบในสัตว์ทดลองอาจสมเหตุสมผลกว่า ดังนั้นค่าปัจจัยเพื่อปรับปริมาณสาร (DAF) สำหรับสมมติฐานดังกล่าวจึงใช้เท่ากับ ๑ เมื่อปรับค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศอย่างนั้นแล้ว หมายถึงการให้สมมติฐานว่าไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศสำหรับสัตว์ทดลองและมนุษย์ สำหรับสารเคมีที่ก่อให้เกิดผลกระทบเฉพาะที่บริเวณเข้าสู่ร่างกาย (ทางเดินหายใจ ผลกระทบต่อสุขภาพทั้งระบบหรือบริเวณอื่นๆ) ข้อมูลจากการศึกษาพบว่าปริมาณสารในสัตว์ทดลองต่อปริมาณสารในมนุษย์มีค่าใกล้เคียงหรือมากกว่า ๑ และสารเคมีที่ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจดังกล่าวมีปัจจัยความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์จากบริเวณพื้นผิวสัมผัสซึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักตัวนั่นเอง (U.S. EPA, 1994)

ค่าดีฟอลท์บางอย่างในการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารจากการรับสัมผัสแบบเรื้อรังอาจใช้ในการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลันได้เพียงบางส่วน จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ ดังนั้น ค่าดีฟอลท์ที่แนะนำให้ใช้เพื่อปรับค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศจากการทดลองกับสัตว์ทดลองให้เป็นค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศสำหรับมนุษย์เท่ากับ ๑ (DAF=1) (OECD, 2011)

๓.๓.๓ ปรับค่าเริ่มต้น (POD) ให้เหมาะสมด้วยค่าปัจจัยระยะสัมผัส (Duration Adjustment) เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงกลุ่ม (categorical regression analysis) สามารถคำนวณค่าความเข้มข้นในระยะเวลารับสัมผัสที่ต้องการได้ แม้ว่าไม่มีข้อมูลการศึกษาตามระยะสัมผัสดังกล่าว ดังนั้น จึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีปรับระยะสัมผัส และความชันจากเส้นถดถอย (regression line) ที่ได้จากโปรแกรม CatReg สามารถนำไปใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น-ระยะเวลารับสัมผัสได้ และใช้ค่าเริ่มต้นเป็น

ค่า NOAEL หรือค่า BMCL ได้ อย่างไรก็ตาม กรณีที่ใช้ค่าเริ่มต้น (POD) จากระยะสัมผัสเดี่ยว เช่น ค่า NOAEL หรือค่า BMCL จะต้องมีการคาดการณ์ค่าความเข้มข้นที่ระยะสัมผัสแบบเฉียบพลันเพื่อประมาณการความเสี่ยงที่ระยะสัมผัสสั้นๆ และไม่มีค่าปัจจัยความไม่แน่นอนจากการคาดการณ์ดังกล่าว

สำหรับสารเคมีที่มีข้อมูลเภสัชจลนศาสตร์ (pharmacokinetics) เพียงพอ ควรใช้แบบจำลองที่อ้างอิงตามหลักสรีรวิทยา PBPK (Physiologically-based Pharmacokinetic) ในการคาดการณ์ดังกล่าว ในกรณีที่มีข้อมูลเภสัชจลนศาสตร์ (pharmacokinetics) เพียงพอ ให้ประมาณการจากความสัมพันธ์ของความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสแสดงเป็นค่าคงที่ ดังสมการ $C^n = k$ โดยใช้ $n = 1$ เมื่อใช้ข้อมูลระยะเวลาสัมผัสระยะยาวที่สุดแล้วคาดการณ์ไปยังระยะสัมผัสที่ยาวกว่า และใช้ $n = 3$ เมื่อใช้ข้อมูลระยะเวลาสัมผัสระยะสั้นที่สุดแล้วคาดการณ์ไปยังระยะสัมผัสที่สั้นกว่า ค่า n ดังกล่าวได้รับการยืนยันจากข้อมูลการศึกษาพบว่า n อยู่ในช่วง $0.8 < n < 3.5$ ถ้าไม่มีข้อมูลผลกระทบต่อสุขภาพระดับวิกฤต (critical endpoint) ที่จะนำมาหาค่าความชัน (ค่าของ n) แต่มีข้อมูลที่ระดับอื่น (เช่น การตาย) และคาดว่ากลไกการออกฤทธิ์ (MOA) คล้ายคลึงกัน อาจเลือกใช้ค่า n ที่เหมาะสมพร้อมกับค่าเริ่มต้นได้ (ten Barge et. al, 1986)

ในกรณีร้ายแรงที่สุดของการปรับระยะสัมผัส จะสมมติว่าความชันจากจุดที่มีระยะสัมผัสสั้นที่สุดไปยังระยะสัมผัสที่ต้องการเป็นเส้นแนวนอน ซึ่งเป็นสมมติฐานความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น-ผลกระทบต่อสุขภาพที่เคร่งครัด ทำให้ได้ค่าความเข้มข้นที่สามารถปกป้องสุขภาพได้อย่างแน่นอน แต่การปรับระยะสัมผัสดังกล่าวไม่ควรประมาณการไปยังค่าความเข้มข้นที่สูงมากๆ โดยไม่ใช่อุณหภูมิสนับสนุน อย่างไรก็ตาม มีบางสารเคมีที่ผลกระทบต่อสุขภาพขึ้นอยู่กับความเข้มข้นและไม่ขึ้นกับระยะเวลาสัมผัสและกราฟแสดงความสัมพันธ์ที่พบว่ามีค่าความชันสูงและเกิดความสมดุลอย่างรวดเร็วทำให้การปรับระยะสัมผัสจากค่าความชันดังกล่าวจะทำให้เกิดค่าความเข้มข้นสูงมาก ดังนั้น สำหรับสารเคมีกลุ่มนี้ควรตระหนักถึงรูปแบบการเกิดพิษแบบนี้หากไม่พบหลักฐานความสัมพันธ์แบบ $C^n \times t$ ตัวอย่างสารเคมีกลุ่มนี้ได้แก่ กลุ่มที่ก่อให้เกิดอาการระคายเคือง

การปรับค่าตามระยะสัมผัสอาจต้องมีการแก้ไขเมื่อการปรับค่าดังกล่าวส่งผลให้ได้ค่าความเข้มข้นมากกว่าหนึ่งค่า และแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น-ระยะสัมผัส-ผลกระทบต่อสุขภาพ (ค่า BMC หรือ ค่าที่ได้จากโปรแกรม CatReg) ไม่สามารถหาค่าความชันได้เนื่องจากข้อมูลไม่เพียงพอ ในกรณีนี้ ควรปรับค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวให้เป็นแบบเส้นตรงโดยใช้ค่า \log ฐานสิบของค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระดับความเชื่อมั่นและระยะสัมผัสต่างๆ

๓.๓.๔ ปรับด้วยค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors: UFs) ค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (uncertainty factors: UFs) เป็นค่าที่นำมาใช้เพื่อแก้ไขความไม่แน่นอน ที่เกิดขึ้นจากการนำข้อมูลทางพิษวิทยาในสัตว์ทดลองมาคำนวณหาขีดจำกัดการสัมผัสสารในมนุษย์ รวมถึงปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลดังกล่าว โดยแบ่งปัจจัยความไม่แน่นอนออกเป็นปัจจัยย่อยๆ ดังนี้

(๑) ปัจจัยความหลากหลายในเผ่าพันธุ์ (Intraspecies: 10H) เป็น factor ที่ใช้สำหรับปรับให้ขีดจำกัดการสัมผัสสารครอบคลุมความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในกลุ่มประชากร เนื่องจากประชาชนแต่ละคนมีความไวต่อสารเคมี (sensitivity) ไม่เท่ากัน จึงเป็นปัจจัยที่ใช้เพื่อปกป้องมนุษย์ที่มีความไวต่อสารเคมีมากที่สุด

(๒) ปัจจัยความหลากหลายระหว่างเผ่าพันธุ์ (interspecies: 10A) เมื่อไม่มีข้อมูลในมนุษย์หรือมีข้อมูลไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องใช้ค่า NOAEL ที่จากการศึกษาความเป็นพิษในสัตว์ทดลอง การนำเอาค่า ที่ได้จากสัตว์ทดลองมาประมาณการ (extrapolate) ใช้ในมนุษย์ ต้องมีการแก้ไขโดยให้พิจารณาว่า มนุษย์มีความไวต่อสารเคมีมากกว่าสัตว์ทดลอง โดยทั่วไปจะพิจารณาความไวเป็น ๑๐ เท่า หรือ 1 log scale อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเป็นพิษถือว่าเป็นผลจากกระบวนการของพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics) และพิษพลศาสตร์ (Toxicodynamics) ในปริมาณเท่าๆกัน โดยพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics) คือ กระบวนการดูดซึมสารพิษ การกระจายสารพิษ และการกำจัดสารพิษ และพิษพลศาสตร์ (Toxicodynamics) คือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางด้านชีวเคมีและสรีรวิทยาของเซลล์อวัยวะเป้าหมายทำให้เกิดการบาดเจ็บของเซลล์ ดังนั้น ปัจจัยความหลากหลายในเผ่าพันธุ์ (intraspecies) และปัจจัยความหลากหลายระหว่างเผ่าพันธุ์ (interspecies) จึงแบ่งค่าปัจจัยความไวไม่อนตามปัจจัยที่เกิดจากพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics) และพิษพลศาสตร์ (Toxicodynamics) เป็น 3×3 (๑๐) เท่ากัน

(๓) ปัจจัยจากระยะเวลารับสัมผัส (Chronic-to-acute: 10S) ถ้าค่า NOAEL/BMC/CatReg10 ที่ได้จากการศึกษาในสัตว์ทดลองที่มีระยะเวลาการศึกษาแบบความเป็นพิษเรื้อรัง สำหรับค่าขีดจำกัดแบบเฉียบพลันจะต้องปรับค่า NOAEL/BMC/CatReg10 ที่ได้จากการศึกษาแบบเรื้อรัง ด้วย factor 10 อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันมีการปรับค่าระยะเวลาสัมผัสแบบ time-scaling จากความสัมพันธ์แบบถดถอย (regression analysis) ระหว่างความเข้มข้นและระยะสัมผัสโดยใช้สูตร $C^2 \times t = k$ (ten Berge and Vis van Heenst, 1983)

(๔) ปัจจัยความไม่แน่นอนจากค่า LOAEL (LOAEL: 10L) ในกรณีที่ไม่มีแม้แต่ค่า NOAEL และจำเป็นต้องใช้ค่า LOAEL แทนเนื่องจาก LOAEL มีค่ามากกว่า NOAEL ดังนั้นจึงต้องปรับค่า LOAEL โดยการใช้ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนเท่ากับ ๑๐ อย่างไรก็ตาม ส่วนมากค่านี้มักไม่ได้ใช้ในการประมาณการค่าขีดจำกัดการสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันในการศึกษานี้ เนื่องจากมีการใช้ค่าความเป็นพิษที่เหมาะสม

(๕) ปัจจัยความไม่แน่นอนจากความสมบูรณ์ของข้อมูลความเป็นพิษ (deficiency of information: 10D) สำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลพิษวิทยาต่อระบบสืบพันธุ์และการพัฒนาของตัวอ่อน (reproductive and developmental toxicity)

(๖) ปัจจัยความไม่แน่นอนจากความสมบูรณ์ของข้อมูลโดยรวม (modifying factor: MF) เป็นค่าปัจจัยที่แสดงถึงความสมบูรณ์และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่น่ามาใช้เช่น จำนวนสัตว์ทดลองในแต่ละกลุ่มที่ใช้ในการหาค่า NOAEL รายละเอียดของการทดลองทำได้ละเอียดและถูกต้องเพียงใด ข้อมูลเหล่านี้เป็นการแสดงความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง โดยค่า default ของ MF มีค่าเท่ากับ ๑

๔. การกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันของประเทศไทย

๔.๑ วิธีการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันของประเทศไทย

จากการพิจารณาวิธีการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีและค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีที่มีการจัดทำในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมี ของประเทศไทย ควรเลือกประยุกต์ใช้ค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศโดยเชื่อว่าประชาชน (เกือบทั้งหมด) สามารถรับได้ถึง ๑ ชั่วโมง แล้วไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (Acute Exposure Guideline Levels: AEGLs) จัดทำโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental Protection Agency: EPA) ตั้งแต่ปีพ.ศ. ๒๕๔๐ (ค.ศ. 1997) เป็นหลัก เนื่องจาก

๔.๑.๑) เป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้ในการวางแผนฉุกเฉิน การป้องกัน และการตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมี สำหรับการปกป้องประชาชน (รวมถึงประชากรกลุ่มเสี่ยง) ที่อาจได้รับสัมผัสสารเคมีจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหล

๔.๑.๒) เป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารที่คำนวณจากการใช้ความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเป็นค่าเริ่มต้น (PCD) แล้วปรับด้วยค่าปัจจัยความไม่แน่นอน (UFs) จึงไม่ผันแปรตามน้ำหนักตัว (Body weight) ของประชาชนที่รับสัมผัสสาร ซึ่งแตกต่างจากการรับปริมาณสารเคมีเข้าสู่ร่างกายทางการกิน (Dose) อีกทั้ง ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนในเผ่าพันธุ์ในการเกิดพิษเป็นผลจากกระบวนการพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetic) และพิษพลศาสตร์ (Toxicodynamic) ดังนั้น ความแตกต่างของน้ำหนักตัวระหว่างเชื้อชาติจึงไม่มีนัยสำคัญ

๔.๑.๓) เป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารที่มีกระบวนการจัดทำที่ใช้ระยะเวลาในการทบทวน ข้อมูลความเป็นพิษและกระบวนการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลันอย่างรอบคอบ ถี่ถ้วนและยาวนาน โดยเลือกใช้แนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพแต่ละระดับ และใช้หลักการการมีน้ำหนักหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ (weight-of-evidence)

๔.๑.๔) เป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารที่มีกระบวนการผ่านการทบทวนของคณะกรรมการระดับประเทศที่มาจากหลายหน่วยงานทางด้านวิชาการพิษวิทยาและการจัดการความเสี่ยง และด้านการตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมี ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และนักวิชาการอิสระจากหน่วยงานทางวิชาการหลากหลาย รวมทั้งนักวิชาการจากประเทศที่เป็นสมาชิกองค์การความร่วมมือและพัฒนาทางเศรษฐกิจ (OECD) ซึ่งมีประเทศสมาชิกมาจากทวีปอเมริกา ทวีปยุโรป ทวีปออสเตรเลีย และทวีปเอเชีย (เกาหลี ญี่ปุ่น)

๔.๑.๕) เป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารที่หน่วยงานด้านการวิชาการในการวางแผนฉุกเฉิน และตอบโต้เหตุฉุกเฉินสารเคมีมีข้อเสนอแนะให้เลือกใช้เป็นอันดับแรกโดยเหตุผลหลักจากข้อ ๔.๑.๓

นอกจากนี้ ยังเป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารค่าที่นำไปใช้อย่างแพร่หลายในประเทศอื่น นอกเหนือจากประเทศสหรัฐอเมริกา จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศโดยเชื่อว่าประชาชนทั่วไปสามารถรับได้ถึง ๑ ชั่วโมง โดยไม่เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน

ในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (AEGLs) จึงเป็นค่าที่มีความน่าเชื่อถือสูงและเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการเหตุการณ์รั่วไหลของประเทศไทยได้ อย่างไรก็ตาม เพื่อให้สามารถใช้ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลันได้ทุกระดับ กรณีที่ไม่มีค่า AEGLs ได้ตั้งค่า ERPGs หรือค่า TEELs ตามลำดับมาใช้แทน เนื่องจากเป็นค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลันที่ออกแบบมาเพื่อรองรับเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลเหมือนกับค่า AEGLs เพียงแต่ระดับความเข้มข้นของเข้มข้นของข้อมูลที่นำมาใช้จะน้อยกว่า

๔.๒ สารเคมี

ปัจจุบันสารเคมีที่มีค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันในบรรยากาศสำหรับประชาชนทั่วไปในระยะเวลสัมผัส ๑ ชั่วโมง ในระดับที่ถึงแก่ชีวิต ระดับรุนแรง และระดับไม่รุนแรง (AEGLs-1, AEGLs-2, AEGLs-3) มีอยู่ทั้งหมด ๒๕๗ ชนิด เป็นกลุ่มที่สิ้นสุดการทบทวนแล้ว (final) ๘๒ ชนิด และอยู่ระหว่างการทบทวน (interim) ๑๗๕ ชนิด ซึ่งถือเป็นค่าที่น่าไปใช้ได้ดีกว่าค่าขีดจำกัดรับสัมผัสสารประเภทอื่น โดยเป็นสารเคมีที่มาจากกลุ่มที่มีอันดับความสำคัญสูงจากความเป็นอันตรายและปริมาณการใช้ ดังนี้

ตารางที่ ๒ สารเคมีที่มีค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลัน (AEGL)

| | |
|------------------------------|----------------------------|
| Magnesium aluminum phosphide | Propane |
| 1,1- Dimethyl hydrazine | Vinyl chloride |
| Methyl hydrazine | Carbon disulfide |
| Aniline | Ethylene oxide |
| Chloroform | Phosgene |
| N,N-Dimethylformamide | Methyl dichlorosilane |
| Methyl bromide | Propyleneimine |
| Methyl chloride | Propylene oxide |
| Hydrogen cyanide | Trimethylchlorosilane |
| Dichlorodimethylsilane | Agent GD (Soman) |
| Trichloromethyl silane | Phenyltrichlorosilane |
| Acetone cyanohydrin | Butane |
| Vinyltrichlorosilane | Acrolein |
| Nerve Agent GA (Tabun) | Allyl Amine |
| Methyl ethyl ketone | Ethylene diamine |
| Monochloroacetic acid | Chloroacetaldehyde |
| Peracetic Acid | Chloromethyl methyl ether |
| Diphenyldichlorosilane | Allyltrichlorosilane |
| 2,6-Toluenediisocyanate | Agent GB (Sarin) |
| Amyltrichlorosilane | cis-1,2-Dichloroethylene |
| Chlorobenzene | trans-1,2-Dichloroethylene |
| Cyclohexylamine | Hydrazine |

| | |
|-----------------------------|-------------------------------|
| Phenol | Agent GF |
| Furan | Sulfur Mustard |
| Octadecyltrichlorosilane | Tetranitromethane |
| Ethyltrichlorosilane | 1,2-Dimethyl hydrazine |
| Ethyleneimine | Agent VX |
| Carbon monoxide | Perchloromethyl mercaptan |
| HFC 134A | HCFC 141b |
| Hexyltrichlorosilane | Diethyldichlorosilane |
| Methyl chlorosilane | Dichlorosilane |
| Dimethylchlorosilane | cis-Crotonaldehyde |
| Calcium phosphide | Dodecyltrichlorosilane |
| Zinc phosphide | Octyltrichlorosilane |
| | Nonyltrichlorosilane |
| Xylenes | Propylene Glycol Dinitrate |
| Chloromethyltrichlorosilane | Sulfur Dioxide |
| Arsine Butyltrichlorosilane | Methyl isocyanate |
| Hydrogen chloride | Chlorine trifluoride |
| Hydrogen fluoride | Sulfuryl chloride |
| Ammonia | Phosphine |
| Phosphorus Trichloride | Jet Fuel (JP-5) |
| Bromine | Trichlorosilane |
| Fluorine | Phosphorus oxychloride |
| Chlorine | Tetrachlorosilane |
| Hydrogen sulfide | Chlorine dioxide |
| Uranium hexafluoride | Nitric oxide |
| Nitrogen tetroxide | Nitrogen dioxide |
| Magnesium Phosphide | Iron pentacarbonyl |
| Sodium Phosphide | Diborane |
| Strontium Phosphide | Potassium Phosphide |
| Nickel carbonyl | Aluminum phosphide |
| | Dichlorophenyltrichlorosilane |

ตัวอย่างการกำหนดค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน

คลอรีน เป็นสารเคมีที่อยู่ในรูปของก๊าซที่บรรยากาศปกติ มีสีเขียวอมเหลือง มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ ๒.๕ เท่าเมื่อรั่วไหลจะก่อตัวเป็นคล้อยกลุ่มเมฆ มีกลิ่นฉุนอย่างรุนแรง และเป็นพิษอย่างร้ายแรง มีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซ์ เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chloride) และเอทิลีนไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride) เป็นสารฟอกขาวในอุตสาหกรรมกระดาษ (พร้อมกับคลอรีนออกไซด์ (ClO₂) และ

เป็นฟอกขาวในผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและครัวเรือน (ในรูปคลอเรต (ClO₃) และไฮโปคลอไรต์ (OCl) รวมทั้งเป็นสารฆ่าเชื้อในแหล่งผลิตน้ำดื่ม สระว่ายน้ำและน้ำเสีย

คลอรีนก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อตาและระบบทางเดินหายใจ และเป็นพิษร้ายแรงต่อปอดที่ความเข้มข้นสูง ๆ คลอรีนแพร่ไปถึงปอดเนื่องจากสามารถละลายน้ำได้ปานกลางและทางเดินหายใจส่วนต้นไม่สามารถดูดซึมคลอรีนความเข้มข้นสูงได้ทั้งหมด ความเข้มข้นต่ำสุดของคลอรีนที่มนุษย์สามารถได้กลิ่นอยู่ที่ระดับ ๐.๓๑ ส่วนในล้านส่วน (ppm) หรือที่ช่วงความเข้มข้น ๐.๒-๐.๔ ส่วนในล้านส่วน (ppm) (National Research Council, 2004) รายละเอียดดังกล่าวในภาคผนวก ๑

ตารางที่ ๓ ตัวอย่างการคำนวณค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแบบเฉียบพลัน-คลอรีน

| ขีดจำกัดการรับสัมผัสสาร | ระยะรับสัมผัส | | | ผลกระทบต่อสุขภาพ |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| | ๑๐ นาที | ๑ ชม. | ๘ ชม. | |
| ระดับที่ ๑ (ไม่หยุดทำงาน)* | 0.5 ppm (1.5 mg/m ³) | 0.5 ppm (1.5 mg/m ³) | 0.5 ppm** (1.5 mg/m ³) | <ul style="list-style-type: none"> - ค่า NOAEL ที่ระดับ 0.5 ppm ที่ไม่ก่อให้เกิดอาการไม่สบายตัว อาการระคายเคือง การเปลี่ยนแปลงต่อสมรรถภาพของปอดมนุษย์เพียงเล็กน้อย ที่เกิดขึ้นชั่วคราวและหายคืนได้ดังเดิม ที่ระยะเวลาสัมผัส ๑๕ นาที และ ๘ ชั่วโมง - ค่า UFH เท่ากับ 1 เนื่องจากใช้ข้อมูลจากประชากรกลุ่มที่มีอาการภูมิแพ้และหอบหืด - ไม่มีการปรับค่า NOAEL จากระยะเวลาสัมผัส เนื่องจากเป็นการศึกษาถึง ๘ ชั่วโมง ผลกระทบไม่รุนแรงขึ้นจากระยะเวลา ๑๕ นาที - ๘ ชั่วโมง - อาการระคายเคืองจากคลอรีนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้น มากกว่าระยะเวลาสัมผัส เป็นเหตุผลของค่าขีดจำกัดที่เท่ากันในระยะสัมผัสต่าง ๆ |
| ระดับที่ ๒ (หยุดทำงาน) | 2.8 ppm (8.1 mg/m ³) | 2.0 ppm (5.8 mg/m ³) | 0.7 ppm (2.1 mg/m ³) | <ul style="list-style-type: none"> - ค่า NOAEL ที่ไม่เกิดอาการคล้ายหอบหืดรุนแรงในประชากรกลุ่มศึกษาที่ระดับ 1 ppm เป็นเวลา ๔ ชั่วโมง - ค่า UFH เท่ากับ 1 เนื่องจากใช้ข้อมูลจากประชากรกลุ่มที่มีอาการภูมิแพ้และหอบหืด - ปรับระยะเวลาสัมผัสเป็นระยะเวลา ๑ ชั่วโมง ด้วยสูตรคำนวณ $C^2 \times t = k$ |

| ขีดจำกัดการรับสัมผัสสาร | ระยะรับสัมผัส | | | ผลกระทบต่อสุขภาพ |
|---|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--|
| | ๑๐ นาที | ๑ ชม. | ๘ ชม. | |
| ระดับที่ ๓ (เสียชีวิต) | 50 ppm (145 mg/m ³) | 20 ppm (58 mg/m ³) | 7.1 ppm (21 mg/m ³) | <ul style="list-style-type: none"> - ค่า NOAEL ที่ระดับ 200 ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ไม่พบหนู rat ตาย และค่า LC₀₁ ที่ระดับ 288 ppm ในหนู rat - ค่า UFA เท่ากับ 3 เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในหนู rat โดยข้อมูลแสดงถึงปัจจัยความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ประมาณ 2 เท่า - ค่า UFH เท่ากับ 3 เพื่อปกป้องประชากรกลุ่มเสี่ยง แม้ว่าคลอรีนจะเป็นพิษแบบสัมผัสโดยตรงมากกว่าการผ่านกระบวนการพิษจลนศาสตร์ |
| * ประชาชนส่วนมากรับรู้กลิ่นที่ระดับนี้ | | | | |
| ** ผลกระทบต่อสุขภาพระดับนี้ไม่รุนแรงขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส | | | | |

๔.๓ ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันสำหรับประเทศไทย

ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันสำหรับประเทศไทยในการศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเกณฑ์ปกป้องสุขภาพประชาชนจากเหตุฉุกเฉินสารเคมีรั่วไหลสู่บรรยากาศ โดยสามารถบ่งชี้ระดับความเป็นอันตรายแบบเฉียบพลันและขีดจำกัดการรับสัมผัสสารแก่ประชาชนทั่วไปจากการได้รับสัมผัสสารเคมีในบรรยากาศในระยะเวลาสั้นๆ จึงให้นิยาม ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีทางการหายใจแบบเฉียบพลัน หมายความว่า ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศที่ประชาชนทั่วไป รวมถึง เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วย ที่รับสัมผัสทางการหายใจในระยะเวลา ๑ ชั่วโมง โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลัน ตามความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพ ๓ ระดับ มีหน่วยเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm) ดังนี้

ระดับที่ ๑ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศ ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

ระดับที่ ๒ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างไม่ร้ายแรง เช่น อาการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น

ระดับที่ ๓ ระดับความเข้มข้นสูงสุดของสารเคมีในบรรยากาศ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง แต่ไม่ถึงขั้นเสียชีวิต

ทั้งนี้ หากความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศเกินระดับที่ ๓ จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างร้ายแรง ถึงขั้นเสียชีวิต

ตารางที่ ๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันระดับต่างๆ และผลกระทบต่อสุขภาพ

| ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน | ผลกระทบต่อสุขภาพ |
|---|---|
| ระดับที่ทำให้รับรู้ได้ (Detectability) ระดับที่ ๑ | - ได้กลิ่น รส ระคายเคืองที่อวัยวะรับสัมผัส (หู ตา ลิ้น จมูก) หรืออาการที่อวัยวะอื่นแบบเล็กน้อยหรือเกิดผลกระทบแบบไม่แสดงอาการ |
| ระดับที่ทำให้ไม่สบาย (Discomfort) ระดับที่ ๒ | - เกิดอาการไม่สบายเพิ่มขึ้น เช่น ระคายเคืองที่อวัยวะสัมผัส - เพิ่มความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพแบบหายคืนได้ดั้งเดิม ทั้งแบบที่มีหรือไม่มีอาการแสดง |
| ระดับที่ทำให้ร่างกายหยุดทำงาน (Disabling) ระดับที่ ๓ | - ทำให้ไม่สามารถหลบหนีจากบริเวณที่เกิดเหตุได้ - เพิ่มความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพแบบไม่หายคืนได้ดั้งเดิม หรืออาการรุนแรงที่คงอยู่เป็นเวลานาน |
| ระดับที่ทำให้ตาย (Death) □ | - เพิ่มโอกาสการเสียชีวิต |

๕. สรุป

ในการจัดทำค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีกลุ่มที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันสูงเพื่อปกป้องประชาชนกรณีเกิดเหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับสารเคมี ข้อมูลความเป็นพิษที่นำไปเป็นค่าเริ่มต้นในการคำนวณจากกลุ่มประชากรมนุษย์ส่วนมากมักไม่เพียงพอจึงต้องทำการประมาณการจากข้อมูลจากสัตว์ทดลอง โดยเลือกจากสัตว์ทดลองที่มีคุณสมบัติทางพิษจลนศาสตร์ (Toxicokinetics) และพิษพลศาสตร์ (Toxicodynamics) คล้ายคลึงกับของมนุษย์ หรือสัตว์ทดลองที่มีไวต่อสารเคมีที่สุดตามลำดับ ทั้งนี้ ค่าปัจจัยความไม่แน่นอนเป็นหลักการที่นำมาใช้ในการปรับค่าความเป็นพิษเริ่มต้น กรณีใช้ข้อมูลจากสัตว์ทดลองเพื่อประมาณการความเสี่ยงต่อมนุษย์ โดยระดับปัจจัยความไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลการศึกษาและกลไกการออกฤทธิ์

สำหรับสารเคมีที่ผลกระทบต่ออวัยวะเป้าหมายหลายที่หรือมีผลกระทบต่อสุขภาพหลายแบบ มีการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ (endpoints) เหล่านั้น รวมถึงผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์ การพัฒนาของตัวอ่อน ระบบประสาท ระบบทางเดินหายใจ และอวัยวะอื่น ๆ และเลือกผลกระทบต่อสุขภาพที่สำคัญที่สุดหรือที่อ่อนไหวที่สุดที่ได้รับความสนใจมาก ส่วนค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันสำหรับสารก่อมะเร็ง มีการประมาณการจากค่าความเข้มข้นสารเคมีในบรรยากาศที่มีโอกาสก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเพิ่มจากปกติ ๑ คนใน ๑๐,๐๐๐ คน หรือ ๑ คนใน ๑๐๐,๐๐๐ คน หรือ ๑ คนใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ คน อย่างไรก็ตาม ค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลันจะพิจารณาถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสเพียงครั้งเดียวเหมือนกรณีเกิดการรั่วไหลสารเคมี ซึ่งอาจไม่ก่อให้เกิดอันตรายแบบการเกิดมะเร็ง จึงเลือกผลกระทบต่อสุขภาพชนิดอื่นที่แสดงผลกระทบต่อสุขภาพแบบเฉียบพลันแทน

๖. เอกสารอ้างอิง

- ACGIH. 2004. *TLV/BEI Development Process: An Overview*. Available at: http://www.acgih.org/TLV/Proposed_TLV-BEI_Development_Process.pdf
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). 2009. *The AIHA 2008 Emergency Response Planning Guidelines and Workplace Environmental Exposure Level Guides Handbook*. Fairfax, VA: AIHA Press.
- Asante-Duah, K. 2002. *Public Health Risk Assessment for Human Exposure to Chemicals: Environmental Pollution, Vol. 6*. Springer Science + Business Media, B.V.
- California Environmental Protection Agency (Cal EPA). 1999. *Determination of Acute Reference Exposure Levels for Airborne Toxicants*. Air Toxicology and Epidemiology Section Office of Environmental Health Hazard Assessment. California.
- Cavender F, Phillips S, Holland M. 2008. *Development of Emergency Response Planning Guidelines (ERPGs)*. J Med Toxicol. 2008 Jun;4(2):127-31.
- ECETOC. 1991. *Emergency Exposure Indices for Industrial Chemicals. Technical Report No. 43*. Brussels, Belgium.
- FACD (Federal Agency for Civil Defense). 1995. *Einsatztoleranzwerte*. München, Germany.
- National Research Council. 2001. *Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals*. The National Academies Press. Washington, DC.
- National Research Council. 2004. *Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals Volume 4*. The National Academies Press. Washington, DC.
- NIOSH/OSHA. 1981. *Occupational health guidelines for chemical hazards*. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 81-123 (NTIS Publication No. PB-83-154609).
- OSHA (Occupational Safety and Health Administration). 1988. 29 CFR 1910 Subpart Z, Toxic and Hazardous Substances. Available at: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owastand.display_standard_group?p_toc_level=1&p_part_number=1910#1910_Subpart_Z
- (OECD) Organization for Economic Co-Operation and Development. 2011. *Guidance Document for the Derivation of an Acute Reference Concentration Concentration (ARFC): Series on Testing and Assessment No.153*. Paris.

- NOAA. Ask Dr. ALOHA: *Choosing Toxic Levels of Concern*. <http://www.response.restoration.noaa.gov/ADA/toxiclocs>
- National Research Council (NRC). 1986. *Criteria and Methods for Preparing Emergency Exposure Guidance Level (EEGL), Short-Term Public Emergency Guidance Level (SPEGL), and Continuous Exposure Guidance Level (CEGL) Documents*. Committee on Toxicology, Board on Environmental Studies and Toxicology, Commission on Life Sciences, National Research Council. National Academy Press. Washington DC.
- Strickland JA and GL Foureman. 2002. *U.S. EPA's Acute Reference Exposure Methodology for Acute Inhalation Exposures*. *Sci Total Environ*. Apr 8; 288 (1-2): 51-63.
- ten Berge, WF, A Zwart & LM Appelman. 1986. *Concentration-time mortality response relationship of irritant and systemically acting vapours and gases*. *Journal of Hazardous Materials*. **13**(3): p. 301-309.
- ten Berge, W.F., and M. Vis van Heemst. 1983. *Validity and Accuracy of a Commonly Used Toxicity-assessment Model in Risk Analysis*. IChemE Symposium Series No. 80:11-112.
- Umweltbundesamt. 1990. *Concept for the Establishment of Hazardous Incident Assessment Values*. German Association of the Chemical Industry. Ca.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1994. *Methods for Derivation of Inhalation Reference Concentrations (RfCs) and Application of Inhalation Dosimetry*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Office of Health and Environmental Assessment, Washington, DC, EPA/600/8-90/066F.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 2009. *Acute Exposure Guideline Levels (AEGLs), for Chemicals*. Available at: <http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/chemlist.htm>.
- U.S. Department of Energy (DOE). 2008. *Temporary Emergency Exposure Limits: Methods and Practice*, DOE-HBK-1046-2008. Available as: [DOE-HDBK-1046-2008](#).
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. *Methods for derivation of inhalation reference concentrations and application of inhalation dosimetry*. Office of Research and Development: Office of Health and Environmental Assessment. Washington, DC. (EPA/600/8-90/066F)

ภาคผนวก ๑ ตารางแสดงตัวอย่างค่าขีดจำกัดการรับสัมผัสสารเคมีแบบเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AGLs)

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|---|--|--|---|--|
| Chlorine ระดับที่ ๑ (ไม่หยุดทำงาน) | - POD: ค่า NOAEL: ๐.๕ ppm (คน) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: อาการไม่สบายตัว อาการระคายเคือง การเปลี่ยนแปลงต่อสมรรถภาพของปอดมนุษย์เพียงเล็กน้อย จากการรับสัมผัส ๔ ชั่วโมง - ระยะเวลาสัมผัส: ๑๕ นาที ๑ ชั่วโมง และ ๘ ชั่วโมง (พักครึ่ง) | ค่า UFH = ๑ | 0.5 ppm (1.5 mg/m ³) | - Chlorine is an irritant to the eyes and respiratory tract; reaction with moist surfaces produces hydrochloric and hypochlorous acids. - ค่า UFH = 1 เนื่องจากใช้ข้อมูลจากประชากรกลุ่มที่มีอาการภูมิแพ้และหอบหืด - ไม่มีการปรับค่า NOAEL จากระยะเวลาสัมผัส เนื่องจากจากการศึกษาถึง ๘ ชั่วโมง พบว่าผลกระทบไม่รุนแรงขึ้นตามระยะเวลาจาก ๑๕ นาที – ๘ ชั่วโมง - อาการระคายเคืองจากคลอรีนเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้น มากกว่าระยะเวลาสัมผัส เป็นเหตุผลของค่าขีดจำกัดที่เท่ากันในระยะสัมผัสต่างๆ |
| ระดับที่ ๒ (หยุดทำงาน) | - POD: ค่า NOAEL: ๑ ppm ผลกระทบต่อสุขภาพ: อาการคล้ายหอบหืดรุนแรงในประชากรกลุ่มศึกษาที่ระดับระยะเวลาสัมผัส: ๔ ชั่วโมง | ค่า UFH = ๑ | 2.0 ppm (5.8 mg/m ³) | - ค่า UFH = 1 เนื่องจากใช้ข้อมูลจากประชากรกลุ่มที่มีอาการภูมิแพ้และหอบหืด - ปรับระยะเวลาสัมผัสเป็นระยะเวลา ๑ ชั่วโมง ด้วยสูตรคำนวณ $C^2 \times t = k$ - การวิเคราะห์เชิงถดถอยจากข้อมูลผลกระทบของคลอรีนต่อมนุษย์ในระดับที่ก่อให้เกิดความรำคาญ (ระคายเคือง-คัน แสบตา แสบจมูก แสบคอ) จากการรับสัมผัสเป็นระยะเวลา ๓๐-๑๒๐ นาที จากคลอรีนความเข้มข้น ๐-๒ ส่วนในล้านส่วน (ppm) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้ $C^2 \times t = k$ เมื่อ C = ความเข้มข้น, t = ระยะเวลาสัมผัส, และ k = ค่าคงที่ |
| ระดับที่ ๓ (เสียชีวิต) | - POD: ค่า NOAEL: ๒๐๐ ppm | ค่า UFs = ๑๐ ค่า UFA = ๓ - ค่า UFH = ๓ | 20 ppm (58 mg/m ³) | - ค่า NOAEL: ๒๐๐ ppm ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ไม่พบหนู rat ตาย LC ₀ และค่า LC ₀₁ อยู่ที่ระดับ ๒๘๘ ppm ในหนู rat - ค่า UFA = ๓ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในหนู rat โดยข้อมูลแสดงถึงปัจจัยความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ประมาณ 2 เท่า |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|--|---|--|----------------------|---|
| | | | | - ค่า UF _H = ๓ เพื่อปกป้องประชากรกลุ่มเสี่ยง แม้ว่าคลอรีนจะเป็นพิษแบบสัมผัส โดยตรงมากกว่าการผ่านกระบวนการพิษจนศาสตร์ |
| Benzene ระดับที่ ๑ (ไม่หยุดทำงาน) | - POD: ค่า NOAEL: ๑๑๐ ppm (คน) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: ผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางเพียงเล็กน้อย - ระยะเวลาสัมผัส: ๒ ชั่วโมง | ค่า UFs = ๓ - ค่า UFA = ๑ - ค่า UF _H = 3 | ๕๒ ppm | - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์ - ค่า UF _H = ๓ เนื่องจากข้อมูลผลกระทบของสารกลุ่มก๊าซสลับพบว่าความหลากหลายต่อกลุ่มประชากรมนุษย์มีความแตกต่างไม่มากไปกว่า ๒-๓ เท่า - ข้อมูลผลกระทบและระดับการสัมผัสได้รับการสนับสนุนจากข้อมูลการศึกษาด้านเมตาบอลิซึมในกลุ่มคนงานหรืออาสาสมัครที่ได้รับสัมผัส - ปรับระยะเวลาสัมผัสเป็นระยะเวลา ๑ ชั่วโมง ด้วยสูตรคำนวณ $C^2 \times t = k$ $k = 110^2 \text{ ppm}^2 \times 120 \text{ min} = 1,452,000 \text{ ppm}^2\text{-min}$ 1-h AEGL-1; $C^2 \times 60 \text{ min} = 1,452,000 \text{ ppm}^2\text{-h}$ $C = 155 \text{ ppm}/3 \text{ UFs}$ $= 52 \text{ ppm}$ |
| ระดับที่ ๒ (หยุดทำงาน) | - POD: ค่า NOAEL: ๔๐๐๐ ppm (หนู rat) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: พฤติกรรมที่มีผลจากระบบประสาทลดลง แต่ไม่ถึงกับหยุดทำงาน (เกิดการเคลื่อนไหวที่เพิ่มขึ้น) - ระยะเวลาสัมผัส: ๔ ชั่วโมง | ค่า UFs = ๑๐ - ค่า UFA = ๓ - ค่า UF _H = ๓ | ๘๐๐ ppm | - พิษเฉียบพลันของเบนซีนที่เด่นที่สุดคือ พิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง ซึ่งเกิดต่อเนื่องตั้งแต่เวียนศีรษะเล็กน้อยจนถึงหมดความรู้สึกที่ไม่สามารถหนีออกจากพื้นที่เกิดเหตุได้ - พิษต่อระบบพัฒนาการมักเกิดจากการสัมผัสสารซ้ำๆ จึงไม่เหมาะในการนำมาคำนวณหาค่า AEGL ซึ่งคำนึงถึงสารที่เกิดการรั่วไหลครั้งเดียว - พิษต่อระบบเลือดสามารถหายคืนได้ดั้งเดิม จึงไม่เหมาะในการนำมาคำนวณหาค่า AEGL - เบนซีนมีศักยภาพการเกิดพิษเฉียบพลันน้อยกว่าหรือเทียบเท่าโทลูอิน และอัลคิลเบนซีนอื่นๆ |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|---------|--|---|----------------------|---|
| | | | | <p>- ค่า UFA = ๓ เนื่องจากข้อมูลผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางของ benzene (และ VOCs โดยทั่วไป) มีความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ไม่มาก และการใช้ค่า UFA สูงจะทำให้ค่า AEGL-2 ไม่สอดคล้องกับผลกระทบที่พบในมนุษย์</p> <p>- ค่า UFH = ๓ เนื่องจากข้อมูลผลกระทบของสารกลุ่มก๊าซสลบพบว่าความหลากหลายต่อกลุ่มประชากรมนุษย์มีความแตกต่างไม่มากไปกว่า ๒-๓ เท่า - ปรับระยะเวลาสัมผัสเป็นระยะเวลา ๑ ชั่วโมง ด้วยสูตรคำนวณ $C^2 \times t = k$</p> <p>$k = 4000^2 \text{ ppm}^2 \times 240 \text{ min} = 3.8 \times 10^9 \text{ ppm}^2\text{-min}$</p> <p>1-h AEGL-1; $C^2 \times 60 \text{ min} = 1,452,000 \text{ ppm}^2\text{-h}$</p> <p>$C = 155 \text{ ppm}/3 \text{ UF}_s$</p> <p>$= 52 \text{ ppm}$</p> <p>- ข้อมูลข้างต้นได้รับการสนับสนุนจากข้อมูลการศึกษาด้านพิษวิทยาจากระบบประสาทในหนูอื่นๆ โดยหนู mice อาจมีความไวกว่าแต่มี body load สูงกว่า</p> <p>- นอกจากนี้ ค่า AEGL-2 ยังสอดคล้องกับข้อมูลทางระบาดวิทยาจากการสัมผัสสารในสถานประกอบการและข้อมูลผลกระทบในระดับที่ไม่สามารถหลบหนีหรือทำงานตามปกติได้</p> <p>- ข้อมูลการศึกษา dose-response-relationship สำหรับเบนซินและ leukemia พบว่าเป็นแบบ non-linear และการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวจากเบนซินไม่ได้เป็นไปตามทฤษฎี 'one-hit' แต่เกิดจากการเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องหลายๆครั้งไม่ใช่การเกิดปฏิกิริยาโดยตรงที่ DNA หรือที่เรียกว่า multistage model ซึ่งเป็นการสัมผัสแบบซ้ำๆแทนที่จะเป็นแบบการสัมผัสแบบเฉียบพลันที่ความเข้มข้น</p> <p>- ข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่า การสัมผัสเบนซินที่ความเข้มข้นสูงๆมีความเสี่ยงมากกว่าการสัมผัสแบบเรื้อรังที่ความเข้มข้นต่ำๆ ซึ่งบทสรุปเหล่านี้หมายถึง การรับ</p> |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|---------|--|---|----------------------|--|
| | | | | <p>สัมผัสเบนซีนที่ความเข้มข้น ๑๐๐ ppm (๖ชม./วัน/) เป็นเวลา ๕ วัน พบว่าเกิดการเป็นพิษต่อระบบเลือดเทียบกับการรับสัมผัสเบนซีนที่ความเข้มข้น ๑๐ ppm (๖ชม./วัน/) เป็นเวลา ๑๐ สัปดาห์ โดยไม่พบอาการเป็นพิษต่อระบบเลือด (ปริมาณเบนซีนสะสมเท่ากัน)</p> <p>อย่างไรก็ตาม การรับสัมผัสแบบเฉียบพลันในการศึกษาค่า AEGL นั้นหมายถึง การรับสัมผัสสารที่ความเข้มข้นสูงกว่า ๕๐๐ ppm หรือ สูงกว่า ๑๐๐๐ ppm ซึ่งการรับสัมผัสที่ความเข้มข้นสูงๆอย่างนี้ ปัจจัยหลักต่อการเกิดพิษ คือ ความอึดตัวของศักยภาพการเมตาบอลิซึมเบนซีน เนื่องจาก สารเมตาบอไลต์ของเบนซีนเป็นตัวที่เหนี่ยวนำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว ข้อมูลการศึกษาในสัตว์ฟันแทะพบว่า กระบวนการเมตาบอลิซึมของเบนซีนอึดตัวที่ความเข้มข้นสูงกว่าสอง-สามร้อยพีพีเอ็ม</p> <p>แบบจำลองความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวจากเบนซีนชี้ว่า ความเสี่ยงเพิ่มขึ้นเมื่อรับสัมผัสสารเพิ่มขึ้นตั้งแต่ ๒๓-๑๒๐ ppm แต่ความเสี่ยงไม่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นไปจนถึง ๒๖๐ ppm (ACGIH, 1997)</p> <p>การประมาณการ dose-response relationship จากข้อมูลทางระบาดวิทยาพบว่า การรับสัมผัสสารทั้งระดับต่ำและสูงพบว่าไม่เป็นแบบ linear</p> <p>ดังนั้น ความน่าเชื่อถือของการคำนวณแบบประมาณการความเสี่ยงจากความสัมพันธ์เชิงเส้นจากการรับสัมผัสสารเบนซีนในระยะเวลาน้อยกว่า ๒๔ ชั่วโมงจึงไม่แน่นอน จึงควรพิจารณาค่าความเสี่ยงจากการประมาณการดังกล่าวอย่างระมัดระวัง (ข้อมูลข้างใต้)</p> <p>- การศึกษาความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากการรับสัมผัสสารเบนซีนตลอดช่วงชีวิต ที่ความเสี่ยง ๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๐.๐๔-๐.๑๔ ppb ๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๐.๔-๑.๔ ppb</p> |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|--|---|--|----------------------|--|
| | | | | <p>๑ ใน ๑๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๔-๑๔ ppb เมื่อปรับด้วยระยะรับสัมผัสให้เป็นการรับ สัมผัสครั้งเดียว ๘ ชั่วโมง โดยไม่ปรับด้วย ค่าปัจจัย DRCF ได้เป็น</p> <p>๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๐.๓๔-๑.๒ ppm ๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๓.๔-๑๑.๙ ppm ๑ ใน ๑๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๓๔-๑๑๙ ppm และเมื่อปรับด้วยระยะรับสัมผัสให้เป็นการรับสัมผัสครั้งเดียว ๘ ชั่วโมงและปรับด้วย ค่าปัจจัย DRCF (dose- ได้เป็น</p> <p>๑ ใน ๑,๐๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๐.๐๖-๐.๒ ppm ๑ ใน ๑๐๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๐.๖-๒ ppm ๑ ใน ๑๐,๐๐๐ จากระดับความเข้มข้น ๖-๒๐ ppm</p> |
| <p><u>ระดับที่ ๓</u> (เสียชีวิต)</p> | <p>- POD: ค่า NOAEL: ๒๐๐ ppm (หนู rat) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: การตาย ระยะเวลาสัมผัส: ๑-๔ ชั่วโมง</p> | <p>ค่า UFs = ๓ ค่า UFA = ๑ - ค่า UFH = 3</p> | <p>๔๐๐๐ ppm</p> | <p>- เบนซีนมีศักยภาพการเกิดพิษเฉียบพลันน้อยกว่าหรือเทียบเท่าโทลูอีน และอัลคิล เบนซีนอื่นๆ</p> <p>- การเสียชีวิตจากการรับสัมผัสสารเบนซีน เกิดจากพิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง อย่างรุนแรง ทำให้เกิดการอัมพาตของระบบการหายใจ โดยสัมพันธ์กับความเข้มข้น ของเบนซีนในน้ำหล่อเลี้ยงสมอง ที่มาจากการสะสมเบนซีนในเนื้อเยื่อซึ่งเกี่ยวข้องกับ อัตราการหายใจ กระบวนการดังกล่าวพบในทั้งหนูทดลองและมนุษย์ และเป็นเหตุผล ให้ใช้ค่า UFA = ๑</p> <p>- ค่า UFA = ๑ เนื่องจากข้อมูลผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางของ benzene (และ VOCs โดยทั่วไป) มีความแตกต่างระหว่างเผ่าพันธุ์ไม่มาก และการใช้ค่า UFA สูงจะทำให้ค่า AEGL-3 ไม่สอดคล้องกับข้อมูลการเสียชีวิตที่พบในมนุษย์</p> <p>- ค่า UFH = ๓ เนื่องจากข้อมูลผลกระทบของสารกลุ่มก๊าซสลบพบว่า ความ</p> |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|--|--|---|-----------------------------------|--|
| | | | | หลากหลายต่อกลุ่มประชากรมนุษย์มีความแตกต่างไม่มากไปกว่า ๒-๓ เท่า |
| Sulfuric acid Sulfur Trioxide Oleum ระดับที่ ๑ (ไม่หยุดทำงาน) | - POD= ค่า NOAEL: ๐.๒ mg/m ³ (คน) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ - ระยะเวลาสัมผัส: ๑-๓๙๐ นาที เป็นเวลา ๒ ครั้ง | ค่า UFs = ๑ - ค่า UFA = ๑ - ค่า UFH = ๑ | ๐.๒ mg/m ³ | - Sulfur trioxide และ Oleum จะเปลี่ยนเป็นละออง Sulfuric acid อย่างรวดเร็วหลังจากปลดปล่อยสู่บรรยากาศ โดยระยะแรกกลุ่มเมฆจะประกอบด้วย ไอระเหย SO3 ไอระเหย H2SO4 และละอองไอ H2SO4 และจะมีลักษณะคล้ายกับกลุ่มก๊าซหนัก และทำยลใน ระยะ 50-100 เมตร จะพบกลุ่มเมฆที่ประกอบด้วยไอระเหย H2SO4 เท่านั้นและมีลักษณะคล้ายกับก๊าซเบา ข้อมูลข้างต้นทำให้การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพและค่า AEGLs ของ SO3 และ Oleum จะประเมินในรูปของ H2SO4 - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์ - ค่า UFH = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์จากฐานข้อมูลที่มีข้อมูลครอบคลุมทั้งกลุ่มที่มีอาการหอบหืด และกลุ่มที่มีสุขภาพดี |
| ระดับที่ ๒ (หยุดทำงาน) | - POD=ค่า NOAEL: ๒๖ mg/m ³ (คน) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจอย่างร้ายแรง - ระยะเวลาสัมผัส: ๘ ชั่วโมงทำงาน | ค่า UFs = ๓ - ค่า UFA = ๑ - ค่า UFH = ๓ | ๘.๗ mg/m ³ | - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์ - ค่า UFH = ๓ เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมความหลากหลายในเผ่าพันธุ์มนุษย์เนื่องจากข้อมูลค่า NOAEL ที่นำมาใช้ มาจากฐานข้อมูลในสถานประกอบการ - ค่า AEGL-2 มีค่าเท่ากันทุกช่วงระยะสัมผัส |
| ระดับที่ ๓ (เสียชีวิต) | - POD: ค่า LC01: ๔๙๑ mg/m ³ (หนู mice) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: การตาย ระยะเวลาสัมผัส: ๑,๒,๔,๘ ชั่วโมง | ค่า UFs = ๓ ค่า UFA = ๑ - ค่า UFH = ๓ | ๑๖๐ mg/m ³ | - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากข้อมูลแสดงว่าหนู mice มีความอ่อนไหวกว่าเผ่าพันธุ์หนู rat ลิง และมนุษย์ - ค่า UFH = ๓ เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมความหลากหลายในเผ่าพันธุ์มนุษย์ - การคำนวณ : LC01 ๔๙๑ mg/m ³ / UFH ๓ = ๑๖๐ mg/m ³ |
| Carbon disulfide ระดับที่ ๑ | - POD= ค่า NOAEL: ๒๐ ppm (คน) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: ระดับ acetaldehyde ในเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ ๕๐ ในคนที่ดื่มอัลกอฮอล์ | ค่า UFs = ๑ - ค่า UFA = ๑ | ๑๓ ppm (๔๒ mg/m ³) | - เมื่อดื่มอัลกอฮอล์เข้าไป เอ็นไซม์ acetaldehyde dehydrogenase (ALDH) ในตับจะแตกตัว Alcohol เป็น acetaldehyde และ ALDH จะแตกตัว acetaldehyde เป็น acetic acid ที่ไม่เป็นอันตราย หากยับยั้งการสลายตัวของ acetaldehyde และมี |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|---------------------------|--|--|-------------------------------------|---|
| (ไม่หยุดทำงาน) | ปริมาณปานกลาง (๐.๗๕ g/L) - ระยะเวลาสัมผัส: ๘ ชั่วโมง | - ค่า UF _H = ๓ | | การสะสมเพิ่มขึ้นของ acetaldehyde จะก่อให้เกิดอาการแสดงของ ‘Antabuse syndrome’ หรือ อาการเมาค้าง เช่น ผิวหนังเป็นสีแดง หัวใจเต้นเร็ว หายใจสั้นๆ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะอย่างรุนแรง มองเห็นไม่ชัด มึนงง เป็นลม หมดสติ - ระดับ acetaldehyde ในเลือดเพิ่มขึ้นในคนที่ดื่มแอลกอฮอล์ปริมาณปานกลาง เป็นผลจากการยับยั้งการทำงานของ ALDH ของ CS ₂ โดยที่ ๒๐ ppm ยังไม่ก่อให้เกิดอาการแสดงของ ‘Antabuse syndrome’ หรือ อาการเมาค้าง - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในมนุษย์ - ค่า UF _H = ๓ เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมถึงคนกลุ่มอ่อนไหวที่มีการทำงานของ ALDH ต่ำๆ (คนเอเชีย) - การปรับตามช่วงระยะเวลาสัมผัสโดยใช้สมการ $C^3 \times t = k$; $k = 20^3 \text{ ppm}^3 \times 8 \text{ h} = 64,000 \text{ ppm}^3\text{-h}$ 1-h AEGL-1; $C^3 \times 1 \text{ h} = 64,000 \text{ ppm}^3\text{-h}; = 40 \text{ ppm}/3 \text{ UF}_H; = 13 \text{ ppm}$ |
| ระดับที่ ๒ (หยุดทำงาน) | - POD=ค่า NOEL: ๑๐๐๐ ppm (หนู rat) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: พฤติกรรมเปลี่ยนในหนู rat (ยับยั้งการหนี) - ระยะเวลาสัมผัส: ๔ ชั่วโมงทำงาน | ค่า UFs = ๑๐ - ค่า UFA = ๓ - ค่า UF _H = ๓ | ๑๖๐ ppm (๔๙๐ mg/m ³) | - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในหนู rat - ค่า UF _H = ๓ เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมถึงคนกลุ่มอ่อนไหวที่มีการทำงานของ ALDH ต่ำๆ (คนเอเชีย) - การปรับตามช่วงระยะเวลาสัมผัสโดยใช้สมการ $C^3 \times t = k$ สำหรับ 30 min และ 1 h; $k = 1000^3 \text{ ppm}^3 \times 4 \text{ h} = 4 \times 10^9 \text{ ppm}^3\text{-h}$ 1-h AEGL-2; $C^3 \times 1 \text{ h} = 4 \times 10^9 \text{ ppm}^3\text{-h}$ $C = 1587 \text{ ppm}/10 \text{ UFs}$ $= 160 \text{ ppm} (490 \text{ mg}/\text{m}^3)$ |
| ระดับที่ ๓ (เสียชีวิต) | - POD: ค่า NOAEL: ๓๐๐ ppm (หนู rat) - ผลกระทบต่อสุขภาพ: การตาย | ค่า UFs = ๑๐ ค่า UFA = ๓ | ๔๘๐ ppm (๙๙๐ mg/m ³) | - ค่า UFA = ๑ เนื่องจากใช้ข้อมูลการศึกษาในหนู rat - ค่า UF _H = ๓ เนื่องจากเพื่อให้ครอบคลุมถึงคนกลุ่มอ่อนไหวที่มีการทำงานของ |

| สารเคมี | ค่าเริ่มต้นของผลกระทบ ต่อสุขภาพ (POD) | ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty Factors) | ค่า AEGLs (๑ ชม.) | หมายเหตุ |
|---------|--|---|----------------------|--|
| | - ระยะเวลาสัมผัส: ๔ ชั่วโมง | - ค่า UF _H = ๓ | | ALDH ต่ำๆ (คนเอเชีย) - การปรับตามช่วงระยะเวลาสัมผัสโดยใช้สมการ $C^3 \times t = k$ สำหรับ 30 min และ 1 h; $k = 3000^3 \text{ ppm}^3 \times 4 \text{ h} = 1.08 \times 10^{11} \text{ ppm}^3\text{-h}$ 1-h AEGL-3; $C^3 \times 1 \text{ h} = 1.08 \times 10^{11} \text{ ppm}^3\text{-h}$ $C = 4762 \text{ ppm}/10 \text{ UFs}$ $= 480 \text{ ppm}$ |