

หน่วยที่ 4 การประเมินสารพิษในร่างกายและดัชนีสารพิษทางชีวภาพ

การตรวจประเมินสารพิษในร่างกายหรือการตรวจวัดสารทางชีวภาพ (Biological monitoring) ในการรับสัมผัสของสารเคมีต่างๆ ของผู้ปฏิบัติงานจากสภาพแวดล้อม กระบวนการผลิต ในโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานประกอบการ เป็นการตรวจประเมินเพื่อเฝ้าระวังสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน โดยวิธีทางชีววิทยา เพื่อให้ทราบว่าสารเคมีต่างๆ เหล่านั้น เมื่อเข้าสู่ร่างกาย เข้าสู่กระแสโลหิตหรือเนื้อเยื่อต่างๆ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยา (Biotransformation) เกิดเป็นสารตัวกลางหรือสารเมตาโบไลต์ (Metabolites) หลายชนิดมากมาย เมื่อร่างกายได้รับสารเคมีเข้าสู่ร่างกายเข้าไปในกระแสโลหิต โดยการกิน หายใจ หรือดูดซึมทางผิวหนัง สารเคมีจะกระจายเคลื่อนย้ายไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย

- สารเคมีถูกกำจัดโดยไม่เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น ปัสสาวะ หายใจออก
- สารเคมีอินทรีย์ ปกติจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างละลายน้ำได้ ถูกกำจัดโดยปัสสาวะและน้ำดี
- สารเคมีพวกสารตัวกลางหรือสารเมตาโบไลต์บางตัวอาจจับกับโมเลกุลของอวัยวะเป้าหมายถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ร่างกายแสดงพิษภัย เกิดโรคต่างๆ

การตรวจประเมินอันตรายจากสภาพแวดล้อมทางสารเคมีต่อผู้ปฏิบัติงานแบ่งเป็น 3 ชนิด

1. การตรวจประเมินในสภาพบรรยากาศ (Ambient monitoring) คือการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีที่ปนอยู่ในอากาศ น้ำ ดิน และอื่นๆ ซึ่งในทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมการตรวจประเมินดังกล่าว หมายถึง การตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศ

2. การตรวจประเมินทางชีววิทยาหรือการตรวจวัดสารทางชีวภาพ (Biological monitoring of exposure) การตรวจปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ วัดดูประสงค์เพื่อให้มั่นใจว่าสภาพสิ่งแวดล้อมทางเคมีที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานอยู่นั้น ปลอดภัย

3. การเฝ้าระวังทางสุขภาพ (Health surveillance or biological monitoring of effects) เป็นการตรวจสอบสถานะสุขภาพ หรือภาวะสุขภาพ บ่งบอกถึงอาการแสดงเริ่มแรกของความผิดปกติของสุขภาพของพนักงาน เพื่อดำเนินการควบคุมป้องกัน

การตรวจวัดสารทางชีวภาพมีความสำคัญต่อ

1. ผู้ปฏิบัติงาน

- ทราบปัญหาสุขภาพในระยะเริ่มแรกสารพิษเข้าสู่ร่างกาย เพื่อหาทางป้องกัน
- ทราบปัจจัย อันตรายต่างๆ ที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางเคมี
- ทำให้ผู้ประกอบการอาชีพมีสุขภาพแข็งแรง เพิ่มผลผลิตทางอุตสาหกรรม สภาพทางเศรษฐกิจของครอบครัวดีขึ้น

2. เจ้าของสถานประกอบการ

- ทราบสถานการณ์ เป็นตัวชี้ประสิทธิภาพการจัดการสภาพสิ่งแวดล้อม ทางเคมีของสถานประกอบการ
- สามารถปรับปรุงสภาพแวดล้อมทางด้านเคมีตามกฎหมายกำหนด เพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน
- ลดความสูญเสียจากการรักษาพยาบาลที่เกิดขึ้นจากการได้รับสารเคมีต่างๆ
- ผลผลิตได้ตามเป้าหมาย พนักงานมีสุขภาพแข็งแรง ทำงานมีประสิทธิภาพ
- ลดค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมพนักงานใหม่แทนพนักงานเก่า ซึ่งได้รับสารเคมี ทำให้เจ็บป่วย
- ทำให้เกิดชื่อเสียงแก่สถานประกอบการในการจัดการสิ่งแวดล้อมทางเคมี เกิดขวัญกำลังใจกับพนักงาน

3. หน่วยงานทางด้านสุขภาพ

- ทราบปัญหาสุขภาพอนามัยของผู้ปฏิบัติงานที่เกิดจากสภาพแวดล้อมทางสารเคมี
- ใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดมาตรการในการควบคุมป้องกัน
- ทราบถึงประสิทธิภาพของการควบคุมสิ่งแวดล้อมทางเคมีของสถานประกอบการ ไม่ได้จะได้พิจารณาปรับปรุงแก้ไข

- ทราบข้อมูลทางวิทยาการระบาดของโรคจากการประกอบอาชีพ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการควบคุมป้องกัน

ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของการตรวจประเมินสารพิษในร่างกาย

ประโยชน์ที่ได้มากที่สุดจากการตรวจวัดสารทางชีวภาพคือ ค่าการตรวจวัดหรือพารามิเตอร์ จากการที่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้อง หรือสัมผัสกับสารเคมี คือถ้าร่างกายได้รับสารเคมีมากก็จะตรวจวัดได้ในปริมาณที่มาก

ข้อได้เปรียบ

1. ตรวจวัดได้ละเอียดกว่าการตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม
2. เป็นตัวชี้วัดความเสี่ยงต่อสุขภาพได้มากกว่าการตรวจวัดทางสิ่งแวดล้อม

ข้อจำกัด

1. ผลการตรวจวัดที่ได้อาจซ้ำเกินไปในการป้องกันโรค
2. ปัญหาในการเก็บตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ เช่นตัวอย่างจากเลือดหรือปัสสาวะมีปริมาณน้อยมากต้องระวังการปนเปื้อน

ดัชนีสารพิษในตัวอย่างชีวภาพ

ดัชนีการตรวจวัดสารทางชีวภาพเป็นเครื่องมือในการตรวจประเมินความปลอดภัยจากการทำงานในสภาพแวดล้อมของสารเคมี ซึ่งสมาคมนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมภาคีรัฐของประเทศสหรัฐอเมริกา (ACGIH) ได้ให้การยอมรับและเสนอแนะให้ใช้เป็นค่าอ้างอิงหรือคำแนะนำ ซึ่งใน ค.ศ. 2005 ได้เสนอให้มีค่าดัชนีสารพิษทางชีวภาพเป็นจำนวน 42 ชนิด

BEI คือคณะกรรมการดัชนีการตรวจวัดจากสารทางชีวภาพ

ค่า BEIs คือค่าหรือดัชนีที่แสดงถึงระดับของตัวชี้วัด

วัตถุประสงค์ของการแต่งตั้งคณะกรรมการ BEI ของ ACGIH คือ

1. เพื่อให้ดัชนี BEI มีบทบาทควบคู่ไปกับค่าดัชนี TLV (Threshold Limit Values ค่ามาตรฐานดัชนีสูงสุดในการทำงาน)
2. เพื่อสนับสนุนให้ดัชนี BEI เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมินการสัมผัสสารเคมีอันตรายต่างๆของผู้ปฏิบัติงาน

หลักการของดัชนีการตรวจวัดสารทางชีวภาพจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญ คือ

1. **ตัวชี้วัด** คือตัวสารเคมี หรือสารตัวกลาง มี 2 ปัจจัย ปริมาณความเข้มข้น กับเทคนิควิธีการทดสอบ
2. **ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง** ความเป็นพิษของสารเคมีที่ลดลงครั้งหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไประยะเวลาหนึ่งหรือที่เรียกว่าครึ่งชีวิต
3. **สิ่งตรวจวิเคราะห์** โดยทั่วไปเก็บตัวอย่างจากเลือดและปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานที่สัมผัสสารเคมีในสภาพแวดล้อมการทำงาน

แนวทางในการปฏิบัติการตรวจตามดัชนี การตรวจวัดสารทางชีวภาพ มีหลักการคือ

1. ข้อควรปฏิบัติก่อนนำ BEI ไปใช้

- ควรนำไปใช้โดยผู้มีความรู้ความเข้าใจทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรม และใช้เป็นข้อเสนอแนะกับผู้ปฏิบัติงาน
- ใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณสารในอากาศ
- ใช้ทดสอบอุปกรณ์คุ้มครองความปลอดภัยส่วนบุคคล เช่น หน้ากากป้องกันสารเคมี หลังใช้ตรวจ ค่า BEI ลดลง
- ใช้ทดสอบการดูดซึมสารเคมีต่างๆ ทางผิวหนัง หรือการกิน
- ค่า BEI เป็นค่า ที่ได้จากความสัมพันธ์ของระดับของสารเคมีต่างๆในร่างกาย 8 ชั่วโมงต่อวัน และ 5 วันต่อสัปดาห์ ถ้าผู้ปฏิบัติงานมีช่วงการทำงานนานกว่านี้ไม่ควรมีการปรับค่า BEI ให้เพิ่มขึ้นหรือลดลง
- ค่า BEI กำหนดขึ้นจากข้อมูลเกี่ยวกับการดูดซึมของร่างกาย การเปลี่ยนแปลงของสารเคมี การขับถ่ายสารเคมีออกจากร่างกาย และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารเคมี และการตอบสนองของร่างกายต่อสารเคมีเหล่านั้น
- เมื่อตรวจพบสูงกว่าต้องปรับปรุงแก้ไข ค้นหาสาเหตุ

- ตรวจวัดในกรณีที่เป็น

2. สารตัวอย่างทางชีวภาพ ตัวอย่างที่เก็บโดยทั่วไป คือลมหายใจออก ปัสสาวะ และเลือด ตารางประกอบด้วย

- ชนิดของสารเคมี (Chemical) ตัวชี้วัดที่เหมาะสม (Determinant) และตัวอย่างที่เก็บ (Sample)

- เวลาที่เก็บตัวอย่าง (Sampling time)

- ค่า BEI

- Notation ข้อมูลเพิ่มเติมหรือสัญลักษณ์ต่างๆ

3. หลักการวิเคราะห์ตัวอย่าง

- การวิเคราะห์ตัวอย่างจากปัสสาวะ

- การวิเคราะห์ตัวอย่างจากเลือด ควรเก็บตัวอย่างจากหลอดเลือดดำ

- การวิเคราะห์ตัวอย่างจากลมหายใจออก

4. เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

Prior to shift หมายถึง เวลาเก็บตัวอย่างหลังจากได้รับสารเคมีเป็นเวลา 16 ชั่วโมง

During shift หมายถึง เวลาเก็บตัวอย่างเวลาใดก็ได้หลังจากได้รับสารเคมี 2 ชั่วโมง

end of shift หมายถึง เมื่อสิ้นสุดการสัมผัสสารเคมีให้เก็บตัวอย่างให้เร็วที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

end of workweek หมายถึง เก็บตัวอย่างหลังจาก 4-5 วันติดต่อกัน

not critical หรือ discretionary หมายถึง สารเคมีครึ่งชีวิตยาวมากและสะสมในร่างกายเป็นเวลานาน ดังนั้นเก็บตัวอย่างช่วงเวลาใดก็ได้

5. ความหมายของสัญลักษณ์ที่ใช้ใน Notation

- “Se” หมายถึง มีกลุ่มคนบางกลุ่มที่มีความไวต่อสารเคมีสูง ทำให้คนเหล่านี้ไม่ได้รับการคุ้มครองจากค่า BEI ที่กำหนดไว้

- “B” แสดงค่าที่มีอยู่ในคนปกติซึ่งได้นำมารวมไว้แล้วในค่า BEI

- “Nq” หมายความว่า ไม่ได้มีการกำหนดค่า BEI เนื่องจากมีข้อมูลไม่เพียงพอ

- “Ns” หมายความว่า สารที่นำมาเป็นตัวชี้วัดไม่มีความจำเพาะกับสารที่คนงานได้รับ ดังนั้นควรมีการยืนยันผล โดยใช้การทดสอบที่เฉพาะกับสารนั้น

- “Sq” หมายความว่า ตัวชี้วัดการได้รับสารเคมีไม่สามารถหาปริมาณได้ จะเป็นการวิเคราะห์แบบกึ่งปริมาณใช้เป็นการทดสอบเบื้องต้นได้

6. ปัจจัยที่มีผลต่อการแปลผลการตรวจวัดสารทางชีวภาพ

- สถานะทางสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานที่สำคัญ คือ อายุ เพศ การตั้งครรภ์ การรับประทานอาหาร น้ำ ไขมันต่างๆ

- แหล่งของมลพิษที่ได้รับจากงาน สภาพแวดล้อม ความเข้มข้น ช่องทางเข้าสู่ร่างกาย การได้รับสารเคมีหลายชนิด

- แหล่งของมลพิษจากสิ่งแวดล้อม นอกสถานที่สัมผัส

- วิธีการดำเนินชีวิต ประจำวันหลังเลิกงาน อุปนิสัยส่วนบุคคล การได้รับสารอื่นๆ การดื่มเหล้า สูบบุหรี่

- ช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง

สารพิษและดัชนีสารพิษในตัวอย่างชีวภาพ

สารเคมีที่พบบ่อยในอุตสาหกรรมและมีผลต่อผู้ปฏิบัติงาน 3 ประเภทคือ สารตะกั่ว สารตัวทำละลายอินทรีย์ และสารป้องกันกำจัดแมลงที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือสารออร์กาโนฟอสเฟต

สารตะกั่ว เป็นสารโลหะสีเทาอมเงิน ในอดีตใช้เป็นส่วนผสมในน้ำมันเบนซินทำให้เครื่องเดินเรียบ ปัจจุบันเลิกใช้แล้ว แต่ยังมีใช้ในอุตสาหกรรมสี และหมึกสีต่างๆ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ทำเป็นลวดเชื่อมของโลหะต่างๆ อุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา อุตสาหกรรมแก้ว กระเบื้องและอุตสาหกรรมแบตเตอรี่

เข้าสู่ร่างกายโดย การกิน หายใจ และทางผิวหนัง กระจายตัวในร่างกายเป็น 3 ส่วน คือ

1. กระจายตัวอยู่ในเลือด 95% จะจับกับเม็ดเลือดแดง
2. กระจายไปที่เนื้อเยื่อที่อ่อนนุ่ม คือพวกตับ ไต ระบบประสาท มีประมาณ 0.6 มิลลิกรัม หรืออาจมีมากถึง 10% ของตะกั่วที่ผสมอยู่ในร่างกาย
3. กระจายไปที่กระดูกซึ่งมีมากถึง 200 มิลลิกรัม บางรายงานเชื่อว่ามีประมาณ 95%

การกำจัดตะกั่วในร่างกายส่วนใหญ่ประมาณ 75% จะถูกขับออกทางไต และอีก 25% จะถูกขับออกทางน้ำดี ผม เหงื่อและเล็บ ค่า BEI ที่ ACGIH กำหนดสำหรับปริมาณตะกั่วในเลือดมีค่าไม่เกิน $30 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$

เบนซีน (Benzene) เป็นของเหลวใสไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ระเหยติดไฟได้ง่าย จัดอยู่ในกลุ่มสารละลายอินทรีย์ ได้มีการนำเบนซีนมาใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยาง เนื่องจากเป็นตัวทำละลายได้ดีจึงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างอื่นด้วย เช่น อุตสาหกรรมผลิตสารกำจัดแมลง ผลิตภัณฑ์ หมึกพิมพ์ การผลิตแผงวงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และการผลิตสารเคมี ก่อนที่มีการจำกัดการใช้และใช้สารที่ปลอดภัยกว่าทดแทน เบนซีนยังเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เข้าสู่ร่างกายโดย การสูดดม การกิน การปนเปื้อนและดูดซึมที่ผิวหนัง เมื่อเบนซีนกระจายตัวเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตแล้วจะเข้าสู่อวัยวะที่มีเลือดและไขมันมาก เช่น สมอง ตับ ไต ไชกระดูก หัวใจ และกล้ามเนื้อ ประมาณร้อยละ 25-50 ของเบนซีนจะถูกขับออกทางลมหายใจ ส่วนที่เหลือของเบนซีนจะถูกเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโดยกระบวนการเมตาบอลิซึมที่ตับ โดยเอนไซม์ P-450 dependent monooxygenase ให้เปลี่ยนเป็น Phenol และ benzene dihydrodiol ซึ่งจะถูกลดเปลี่ยนให้เป็น Phenylmercapturic acid และ Muconic acid ซึ่งจะถูกลดขับทางปัสสาวะต่อไป

พิษเรื้อรังของเบนซีน ได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อไขกระดูก และทำลายไขกระดูก ทำให้มีไขมันเข้าไปแทนที่และทำให้โลหิตจาง จำนวนเม็ดเลือดขาวและเกร็ดเลือดต่ำเกิดโรคโลหิตจางที่เรียกว่า aplastic anemia และทำให้เกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ และยังมีพิษต่อระบบประสาท มีความผิดปกติของเส้นประสาทสมอง เป็นพิษต่อดับทำให้ดับอีกเสบ

การตรวจวัดเบนซีนในร่างกาย การตรวจหาปริมาณเบนซีนในร่างกายโดยการประเมินดัชนีสารพิษในตัวอย่างชีวภาพ (BED) นั้นหน่วยงาน ACGIH ได้เสนอแนะให้ตรวจหาปริมาณสารเมตาบอไลต์ของเบนซีนซึ่งตรวจ 2 สารเมตาบอไลต์ คือ

1. การตรวจหาปริมาณกรด Phenylmercapturic ในปัสสาวะ โดยเก็บตัวอย่างปัสสาวะจากผู้ปฏิบัติงานเมื่อเลิกกะ (End of Shift)

ซึ่งจะต้องพบไม่เกิน 25 ไมโครกรัม/กรัมของครีอะตินีน

2. การตรวจหาปริมาณกรด t,t Muconic ในปัสสาวะ ซึ่งเก็บจากตัวอย่างปัสสาวะของผู้ปฏิบัติงานเมื่อเลิกกะเช่นกันและต้องพบไม่เกิน 500 ไมโครกรัม/กรัมของครีอะตินีน

โทลูอีน (Toluene) เป็นสาร Aromatic Hydrocarbon ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเบนซีน เป็นของเหลวที่มีกลิ่นเหมือนเบนซีน แต่มีความเป็นพิษน้อยกว่า ละลายน้ำได้น้อยมากแต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ มีการใช้โทลูอีนในอุตสาหกรรมหลายประเภทที่สำคัญคือ ใช้เป็นสารทำละลายในอุตสาหกรรมยา เคมี ยาง และพลาสติก ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น และเป็นสารตัวกลาง ในอุตสาหกรรมอินทรีย์เคมีและอุตสาหกรรมสังเคราะห์เคมี ใช้เป็นทินเนอร์ในสีแกล็กเกอร์และน้ำมันขัดเงา ใช้เป็นสารขจัดล้างสี

การตรวจวัดโทลูอินในร่างกาย สามารถดำเนินการตรวจวัดหาปริมาณโทลูอินในเลือดและในสารเมตาบอไลต์ที่สำคัญคือ ออร์โทครีซอล ในปัสสาวะ และกรดฮิปปูริกในปัสสาวะ

ไซลีน (Xylene) ส่วนใหญ่เข้าสู่ร่างกายโดยการสัมผัสทางผิวหนัง การระคายเคืองผิวหนังรุนแรงกว่า เบนซีน และโทลูอิน การตรวจหาปริมาณไซลีนในร่างกาย โดยการวัดปริมาณกรดเมธิลฮิปปูริก ในปัสสาวะ ต้องมีค่า BEI ไม่เกิน 1.5 กรัม/กรัมของ ครีอะตินิน

สารประกอบออร์กาโนฟอสเฟตและค่าดัชนีสารพิษในตัวอย่างทางชีวภาพของสารประกอบออร์กาโนฟอสเฟต

ใช้เป็นยาป้องกันและกำจัดศัตรูพืช ที่เกษตรกรใช้กันอย่างกว้างขวาง เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร เข้าสู่ร่างกายโดยดูดซึมเข้าทางผิวหนัง การหายใจเข้าไปจากสารเคมีที่ฟุ้งกระจายในบรรยากาศการทำงาน เช่นการฉีดผ่าน (spray) หรือปนเปื้อนกับอาหาร สารออร์กาโนฟอสเฟต เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะไปยับยั้งเอนไซม์โคลีรีนเอสเตอเรส ทั้งในพลาสมาและเม็ดเลือดแดง ทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์ดังกล่าวลดต่ำลง รวมทั้งยับยั้งการทำงานของโคลีรีนเอสเตอเรสในปลายประสาทต่างๆ จึงทำให้ร่างกายแสดงอาการผิดปกติต่างๆ ออกมา ดังนั้นระดับความสามารถในการทำปฏิกิริยาของโคลีรีนเอสเตอเรสในพลาสมาและเม็ดเลือดแดงจึงเป็นการวัดความเป็นพิษของสารออร์กาโนฟอสเฟต ผู้ป่วยที่ไม่แสดงอาการมีระดับโคลีรีนเอสเตอเรสสูงกว่า 50% ของค่าปกติ 20-50% พิษน้อย 10-20% พิษปานกลาง น้อยกว่า 10% มีอาการรุนแรงรุนแรงมากอาจจะน้อยกว่า 0

ACGIH ได้เสนอแนะให้ตรวจหาจำนวนทารา-ไพโตรฟีนอลทั้งหมดในปัสสาวะเก็บตัวอย่างเล็กงานไม่เกิน 0.5 มก/กของครีอะตินิน

และปริมาณเอนไซม์โคลีรีนเอสเตอเรสของเซลล์เม็ดโลหิตแดง ไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของพื้นฐานของแต่ละบุคคล เพื่อใช้เป็นดัชนีสารพิษในตัวอย่างชีวภาพของสารออร์กาโนฟอสเฟต