บทที่ 1
การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์

การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เป็นงานที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในการทำงานของคนงานหรือพนักงานในสถานประกอบการสำหรับการดูแล ตรวจสอบ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ปัจจัยเสี่ยงทั้งด้านสิ่งแวดล้อม ลักษณะการทำงาน หรืออื่นๆที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานทำให้ผู้ปฏิบัติงานเกิดความไม่สบายหรือลดประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งอาจส่งผลกระทบต่อประชาชนที่อยู่บริเวณโดยรอบการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โดยทั่วไปนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมจะเป็นผู้ดำเนินการ (สราวุธ สุธรรมาสา, 2553) ปัจจุบันกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2549 ออกตามพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ.2541 ได้กำหนดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพเป็นผู้ตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงานหรือดำเนินการร่วมกับบุคคลหรือหน่วยงานที่ขึ้นทะเบียนกับกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานเป็นผู้รับรองหรือตรวจสอบเอกสารหลักฐานรายงานในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมในการทำงานภายในสถานประกอบกิจการ โดยออกกฎหมายอีกฉบับมาเพื่อให้ดำเนินการ คือ พระราชบัญญัติความปลอดภัยอาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2554 ในปัจจุบันการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์จึงอยู่ภายใต้การดำเนินงานของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (จป.วิชาชีพ)

จุดมุ่งหมายของการตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง

การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเป็นสิ่งสำคัญในการเฝ้าระวังสิ่งคุมคามต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งมีจุดมุ่งหมาย 3 ประการ คือ การตระหนัก (Recognition) เป็นการค้นหาหรือบ่งชี้อันตรายจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการทำงานที่อาจคุกคามต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และยังส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานด้วย ซึ่งนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมจะเป็นผู้ดำเนินการในเรื่องนี้ โดยตัวนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมเองนั้น ต้องเป็นผู้ที่มีความรู้และความเข้าใจในกระบวนการผลิตต่างๆ ในโรงงานหรือสถานประกอบการ นอกจากนี้ยังจะต้องศึกษาเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้และผลิตขึ้นซึ่งข้อมูลในการชี้บ่งอันตรายนั้นอาจรวบรวมมาจากการสำรวจโรงงานการสังเกต หรือการสอบถามผู้ปฏิบัติงานและผู้บริหารระหว่างการสำรวจรวมถึงศึกษาจากเอกสารที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต ซึ่งปกติแล้วจะอยู่ในคู่มือหรือตำราทางวิชาการเกี่ยวกับการผลิตเฉพาะเรื่องโดยเฉพาะอย่างยิ่งรายชื่อสารเคมีและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทั้งหมดควรที่จะมีไว้เพื่อใช้อ้างอิงในระหว่างการประเมินระดับปัญหาสิ่งแวดล้อมในสถานที่ปฏิบัติงาน ในขั้นตอนนี้จะทำให้เรา

ทราบถึงแหล่งกำเนิดมลพิษในสถานประกอบการ ความเป็นพิษของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิต กระบวนการผลิตที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิตรวมถึงมาตรการควบคุมที่ใช้อยู่โดยในขั้นตอนนี้สามารถทำได้โดยการทบทวนรายงาน (Record Review) เช่น รายงานอุบัติเหตุ การบาดเจ็บและการเจ็บป่วยจากการทำงาน ซึ่งจะทำให้สามารถระบุได้ว่ามีสภาพแวดล้อมที่อาจก่อให้เกิดอันตรายอยู่ในส่วนใดของกระบวนการผลิต และจากการเดินสำรวจเบื้องต้น (Walk Through Survey) ซึ่งเป็นกิจกรรมหนึ่งในกระบวนการค้นหาสิ่งคุกคามต่อสุขภาพและประเมินความเสี่ยง โดยการเข้าไปในสถานที่ทำงานเพื่อดูว่าผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องทำอะไรและทำอย่างไร มีสภาพแวดล้อมในการทำงานอย่างไร โดยใช้ประสาทสัมผัสทั้ง 5 พร้อมด้วยกล้องถ่ายรูป และอุปกรณ์ที่ช่วยในการจดบันทึก หรืออาจมีการใช้เครื่องมืออย่างง่ายที่สามารถอ่านค่าโดยตรงร่วมด้วย เพื่อประเมินสภาพปัญหาเบื้องต้น ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนนี้จะนำมาใช้ในการวางแผนการเก็บตัวอย่างอย่างละเอียดต่อไป

การประเมิน (Evaluation) เมื่อได้ข้อมูลที่รวบรวมจากขั้นตอนการตระหนักถึงอันตรายจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน โดยอาศัยการศึกษาหรือการสำรวจเบื้องต้นในสถานที่ปฏิบัติงาน เพื่อค้นหาหรือชี้บ่งอันตรายจากปัจจัยสิ่งแวดล้อมในการท างานที่อาจคุกคามต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานแล้ว ก็มาสู่ขั้นตอนการประเมินอันตรายจากสิ่งแวดล้อมในการท างานเพื่อประเมินระดับของปัญหาที่พบนั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้ตัวผู้ดำเนินการควรมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตของโรงงานเป็นอย่างดี เพื่อที่จะได้ทราบถึงแหล่งและต้นตอของปัญหาได้อย่างถูกต้อง รวมถึงยังต้องมีการศึกษาและทำความเข้าใจในประเด็นสำคัญต่างๆ เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการพิจารณา เช่น ข้อกำหนดทางกฎหมาย ค่ามาตรฐานต่างๆ จำนวนผู้ปฏิบัติงาน ระยะเวลาการสัมผัสกับปัจจัยเสี่ยงของผู้ปฏิบัติงาน เป็นต้นจากนั้นจึงทำการพิจารณาเลือกเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับประเมินอันตรายจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน โดยทั่วไปแล้วเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินเพื่อให้ทราบระดับอันตรายจากการทำงาน จะมีอยู่ 3 ประเภท คือ เครื่องมือชนิดอ่านค่าโดยตรง (Direct Reading Instrument) เครื่องมือวิเคราะห์แบบต่อเนื่อง (Continuous Monitoring Devices) และเครื่องมือเก็บตัวอย่างเพื่อการส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ (Sample Collection Devices) โดยในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการประเมินอันตรายจากสิ่งแวดล้อมใน

การควบคุม (Control) ถ้าผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ที่ได้จากขั้นตอนการประเมินเกินค่ามาตรฐานหรือมีค่าสูงเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ต้องมีการจัดมาตรการเพื่อลดหรือกำจัดอันตรายเหล่านั้นโดยการจัดทำเป็นแผนงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและจัดทำโครงการย่อยต่างๆ เพื่อแก้ไขปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานที่มีปัจจัยเสี่ยงเกินค่ามาตรฐานนั้น เช่น โครงการอนุรักษ์การได้ยิน การจัดหาอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลให้กับพนักงานสวมใส่ขณะปฏิบัติงาน การอบรบให้ความรู้ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับอันตรายจากการทำงาน หรืออาจจัดทำป้ายหรือสัญลักษณ์สื่อสารความเป็นอันตรายให้ผู้ปฏิบัติงานทราบ เป็นต้นการควบคุมอันตรายจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ผลจากการเลือกใช้วิธีที่

เหมาะสมจะเป็นการช่วยลดโอกาสที่จะเกิดปัญหาจากอันตรายที่จะคุกคามสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานลงได้โดยทั่วไปแล้ว มาตรการหลักๆ ที่ใช้ควบคุมอันตรายจากสิ่งแวดล้อมในการทำงานคือ การควบคุมที่แหล่งกำเนิด การควบคุมที่ทางผ่าน และการควบคุมที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน

ประเภทของการตรวจวัดและเก็บตัวอย่าง

การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างสำหรับการประเมินหรือการวิเคราะห์ สามารถทำได้แตกต่างกันออกไปตามองค์ประกอบต่างๆ อาทิ สภาพแวดล้อมของพื้นที่ทำการตรวจวัด แหล่งแพร่กระจายของสิ่งที่จะตรวจวัดที่อาจจะส่งผลกระทบต่อร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนถึงระยะที่เหมาะสม เป็นต้น จากองค์ประกอบดังกล่าวจึงแบ่งประเภทของการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างได้ 2 แบบ คือแบ่งตามลักษณะของการเก็บตัวอย่าง แบ่งตามระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. แบ่งตามลักษณะของการเก็บตัวอย่าง 2 ประเภท คือ

1.1 การเก็บตัวอย่างในพื้นที่ทั่วไป (General Area Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างโดยไม่เจาะจงบริเวณ เช่น ทำการตรวจวัดปริมาณของสิ่งแวดล้อมที่อาจเป็นอันตรายในสภาพแวดล้อมการทำงานทั่วไป หรือใช้ในการตรวจวัดเพื่อทำการสำรวจเบื้องต้น

1.2 การเก็บตัวอย่างที่ตัวผู้ปฏิบัติงาน (Personal Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือที่สามารถติดกับคนงานที่สัมผัสกับมลพิษหรือใช้เครื่องมือแบบเก็บตัวอย่างในพื้นที่แต่ติดตั้งในบริเวณที่มีผู้ปฏิบัติงาน โดยความสูงในการติดตั้งเครื่องมืออยู่ในระดับเดียวกับอวัยวะที่อาจได้รับผลกระทบจากมลพิษ (Target Organ)

2. แบ่งตามระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง แบ่งได้ 4 ประเภทคือ

2.1 การเก็บตัวอย่างเดียวตลอดระยะเวลาทำงาน (Simple Sample for Full Period) การเก็บตัวอย่างแบบนี้ทำให้ได้ปริมาณของมลพิษที่ผู้ปฏิบัติงานรับสัมผัสจริงตลอดระยะเวลาการทำงาน แต่อาจเกิดความผิดพลาดได้ในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานมีช่วงพักซึ่งไม่มีการรับสัมผัสกับมลพิษ ทั้งยังเป็นการสิ้นเปลืองงบประมาณและเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

2.2 การเก็บตัวอย่างแบบหลายตัวอย่างเก็บตลอดระยะเวลาทำงาน (Consecutive Sample for Full Period) เป็นการแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็นหลายช่วง แต่เก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาทำงานของผู้ปฏิบัติงาน มีข้อดีคือลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นหากผู้ปฏิบัติงานมีช่วงพักเพราะการเก็บแบบนี้สามารถกำหนดช่วงการเก็บเพื่อหลีกเลี่ยงช่วงเวลาพักของผู้ปฏิบัติงานได้ แต่ก็ยังมีข้อเสียคือต้องใช้งบประมาณและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

2.3 การเก็บตัวอย่างแบบหลายตัวอย่างโดยแบ่งระยะเวลาเก็บออกเป็นช่วง (Consecutive Sample for Partial Period) เป็นการเก็บตัวอย่างโดยใช้หลักการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นวิธีที่นักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมส่วนใหญ่นิยมเลือกใช้ สามารถยอมรับในเชิงวิชาการได้แต่ระยะเวลาการในการสุ่มเก็บตัวอย่างไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 70 ของระยะเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน

2.4 การเก็บตัวอย่างแบบจุด (Grab Sampling) เป็นการเก็บตัวอย่างที่ใช้งบประมาณและระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างน้อยที่สุดเนื่องจากในการเก็บตัวอย่างแต่ละจุดจะไม่เกินจุดละ 5 นาที ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์มีโอกาสผิดพลาดได้มากที่สุด ดังนั้นจึงต้องควบคุมให้เกิดความผิดพลาดให้น้อยที่สุด เลือกช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างให้เหมาะสมที่สุด การเก็บตัวอย่างแบบนี้เหมาะสำหรับการเก็บตัวอย่างเพื่อทำการค้นหาและประเมินอันตรายเบื้องต้นก่อนที่ทำการเก็บตัวอย่างด้วยวิธีอื่นต่อไป

ในการเก็บตัวอย่างแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการเลือกใช้จึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ เช่น ความสามารถของเครื่องมือที่ใช้ ลักษณะการกระจายของมลพิษ ระยะเวลาในการสัมผัสมลพิษ งบประมาณ เป็นต้น

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดและเก็บตัวอย่าง

รจฤดี โชติกาวินทร์ (2558) ได้สรุปเกี่ยวกับการวัดและเก็บตัวอย่างสำหรับการประเมินทางสุขศาสตร์ จะมีการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของสิ่งที่จะประเมินได้ตามสภาพแวดล้อมการทำงาน ในทางปฏิบัติจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในสภาพแวดล้อมในการทำงานจึงสามารถวัดและเก็บตัวอย่างได้อย่างถูกต้อง ซึ่งต้องพิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1. ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง (Sampling Duration)

ในการกำหนดระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่าง เช่น ความไวของเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยเครื่องมือที่มีความไวสูงสามารถวัดหาระดับของมลพิษที่มีปริมาณน้อยๆ ได้ดีระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างก็จะสั้นกว่า

2. ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง

เนื่องจากระดับของมลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของวันเช่น การเก็บตัวอย่างแสงสว่างในเวลากลางคืนผู้ปฏิบัติงานอาจมีโอกาสได้รับผลกระทบมากกว่าเวลากลางวันเนื่องจากไม่มีแสงจากธรรมชาติ ดังนั้นนอกจากจะทำการตรวจวัดแสงสว่างในช่วงเวลากลางวันแล้วยังควรต้องดำเนินการตรวจวัดแสงสว่างในช่วงเวลากลางคืนด้วย

3. ลักษณะ สภาพ การกระจาย และความเข้มข้นของมลพิษ

กระบวนการผลิตที่ไม่มีความต่อเนื่องจะมีลักษณะการกระจายของมลพิษไม่คงที่ จึงต้องกำหนดรูปแบบของการเก็บตัวอย่างให้สอดคล้องเหมาะสม

4. งบประมาณ

เป็นส่วนสำคัญในการตัดสินใจกำหนดรูปแบบการเก็บตัวอย่าง เช่น จำนวนของตัวอย่าง ประเภทของการเก็บตัวอย่างระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง และบุคลากร เป็นต้น

5. มาตรฐานที่เลือกใช้ในการประเมินข้อมูล

โดยมีทั้งมาตรฐานของประเทศไทยและมาตรฐานของต่างประเทศ ซึ่งมลพิษบางประเภทก็ยังไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานสำหรับประเทศไทย เช่น ความเย็น แต่เพื่อเป็นแนวทางในการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานจึงอาจต้องใช้มาตรฐานของต่างประเทศด้วยการวิเคราะห์ตัวอย่างทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมหมายถึง การแปลผลข้อมูลที่ได้มาจากการอ่านค่าจากเครื่องมือเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะทำให้ทราบว่ามีปัญหาหรือไม่ โดยข้อมูลที่จำเป็นต้องทราบเพื่อประกอบการวิเคราะห์ คือ ธรรมชาติของตัวอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ความเข้มข้นของตัวอย่างระยะเวลาในการสัมผัส

การตรวจวัดหรือเก็บตัวอย่างเพื่อให้มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ ซึ่งในบางครั้งปัจจัยบางอย่างอาจจะจำกัดความสามารถในการตรวจวัดและประเมิน ผู้ตรวจวัดจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาและคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในสภาพแวดล้อม และความสำคัญของวัตถุประสงค์ในการตรวจวัดนั้นๆ

เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

สุมิตรา ตันติดิลกกุล (2553) ได้สรุปเกี่ยวกับเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง เป็นเครื่องมือที่รวมเอาการเก็บตัวอย่างอากาศ วิเคราะห์แปลผลได้ในเครื่องมือเดียวกันและประมวลผลการตรวจและแสดงให้เห็นได้ทันทีที่ทำการตรวจวัดระบุค่าความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัดได้ชัดเจนและตรงกับความเป็นจริง ชนิดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงสามารถแบ่งได้ตามลักษณะทางกายภาพของสารที่ตรวจวัดได้ แบ่งตามประเภทของปนเปื้อนที่ต้องการตรวจวัด และแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง มีหลักการทำงานพื้นฐาน คือ การนำอากาศตัวอย่างส่งเข้าไปยังส่วนรับรู้ (Sensor) โดยมีเครื่องดูดอากาศ (Active Sampling) หรือโดยการแพร่กระจายเข้าไปเอง (Passive Sampling) แล้วถูกวิเคราะห์ โดยเครื่องมือ (Meter) ชนิดต่างๆ

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (Direct Reading Instrument) หรือ เครื่องมืออ่านค่าที่เวลาตรวจวัดจริง (Real-time Measurement Instrument) เป็นเครื่องมือที่รวมเอาการเก็บตัวอย่าง และการวิเคราะห์ตัวอย่างไว้ด้วยกันในเครื่องมือนั้นๆ ซึ่งสามารถอ่านค่าจากการตรวจวัดได้ โดยตรงและทันทีหรือใกล้เคียงกับเวลาที่ทำการตรวจวัด ผลจากการตรวจวัดอาจจะอยู่ในรูปการอ่านหน้าปัทม์ของอุปกรณ์ การอ่านแถบกระดาษบันทึกการเปรียบเทียบจากการเปลี่ยนสีของเคมีบนมาตรวัด หรือเปลี่ยนจากสีหนึ่งไปเป็นอีกสีหนึ่งเพื่อแจ้งค่าเป็นต้นเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง บางครั้งถูกเรียกว่าเป็น เครื่องมืออ่านค่าที่เวลาวัดจริง เนื่องจากให้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และประมวลออกมาในช่วงเวลาใกล้เคียงกับวัดตัวอย่างมากและสามารถนำผลไปใช้ในการตัดสินใจ ในการทำงานด้วยความปลอดภัยได้ทันที ด้วยเหตุนี้จึงเรียกว่า Real-time Measurement Instrument การวิเคราะห์ตัวอย่างของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่จะกล่าวต่อไปนี้ จะเน้นเครื่องมือเพื่อการตรวจวัดตัวอย่างในรูปของอนุภาค ก๊าซ หรือไอของสารเคมี ในสิ่งแวดล้อมการทำงานเท่านั้น

2. ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่ดี ควรจะสามารถเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์อากาศในสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ระบุผลความเข้มข้นของสารที่ทำตรวจวัดได้ชัดเจนและตรงกับความจริงในเวลาที่รวดเร็ว ทั้งในการอ่านค่าความเข้มข้นระยะสั้น (Short-term Measurememt) จากการตรวจวัดระยะสั้นและการอ่านคงความเข้มข้นในระยะยาวจากการตรวจวัดระยะยาว (Long-term Measurememt) และควรมีส่วนประกอบที่ใช้บันทึกค่าที่อ่านได้อยู่ด้วย (Data-Logger) การใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง จะได้ประโยชน์อย่างยิ่งต่อการใช้ประเมินผลแนวโน้มของสภาวะที่เป็นอันตรายอย่างทันท่วงทีในโรงงานอุตสาหกรรม หากได้รับการปรับเทียบ (Calibration) อย่างถูกต้อง และเหมาะสมกับการใช้งานทั้งนี้ผู้ใช้งานยังต้องเรียนรู้ และทำความเข้าใจกับการใช้เครื่องมือ ลักษณะการทำงาน และขีดจำกัดต่างๆ ของเครื่องมือด้วยเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงมีอยู่หลายชนิดและสามารถแบ่งเป็นกลุ่มของเครื่องมือได้หลายอย่างซึ่งจะกล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป อย่างไรก็ตามสามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องมือเหล่านี้ ในภาพรวม ได้ดังต่อไปนี้

2.1 ข้อดีของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

2.1.1 สามารถวัดและอ่านค่าความเข้มข้นของปนเปื้อนหรือสารเคมี ในบรรยากาศได้ทันทีทันใด ซึ่งสามารถประเมินสภาวะแวดล้อมในบริเวณนั้นๆ ได้อย่างทันท่วงที

2.1.2 สามารถบันทึกความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนหรือสารเคมีติดต่อกันได้นาน 24-48 ชั่วโมง เพื่อใช้เป็นหลักฐานอ้างอิงได้

2.1.3 สามารถติดตั้งระบบเตือนภัยเข้ากับเครื่องเหล่านี้ เพื่อใช้ในการเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ทราบถึงสภาวะอันตรายที่ตรวจพบได้

2.1.4 ลดจำนวนการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการลงได้

2.1.5 เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาและจัดเตรียมตรวจวัดที่สมบูรณ์และซับซ้อนต่อไป

2.1.6 สามารถใช้แทนการตรวจวัด ทางห้องปฏิบัติการในจุดที่ ยุ่งยากและลำบากในการเก็บตัวอย่างวิธีอื่นๆ

2.1.7 ไม่เปลืองค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ วิเคราะห์แต่ละครั้ง

2.1.8 ใช้ในการติดตาม ตรวจวัดการสัมผัสของบุคคล (Personal Exposure) ได้สะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีอื่น

2.1.9 เพื่อใช้ผลในการตัดสินใจเลือกใช้ เครื่องป้องกันอันตรายส่วนบุคคล เช่น หน้ากากกรองสารเคมี

2.1.10 ใช้ตรวจสอบในการทำ Fit Testing ของหน้ากากกรองสารเคมี

2.2 ข้อจำกัดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

2.2.1 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง บางชนิดมีราคาสูง

2.2.2 จำเป็นต้องมีการปรับค่าความถูกต้องบ่อยๆหากไม่ได้รับการปรับเทียบความถูกต้องจะมีปัญหา ต่อการใช้เครื่อง

2.2.3 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง บางชนิดไม่สามารถนำ เครื่องติดตัวไปได้เนื่องจากมีข้อจำกัดบางอย่าง เช่น น้ำหนัก ไม่ใช่เครื่องมือที่ได้รับรองการเกิดประกายส่งผลต่อการระเบิดได้ (Explosion Proof)

2.2.4 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงบางชนิด ไวต่อการรบกวนจากสารเคมี ทำให้การอ่านค่าผิดพลาด

2.2.5 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง บางชนิด มีรายละเอียด และข้อจำกัด ในการใช้ และการบำรุงรักษายุ่งยาก ซับซ้อน

2.2.6 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงบางชนิด มีการแปลผลไม่ชัดเจน เช่น การเปลี่ยนสีเทียบค่ายากต่อการอ่านค่า

3. วัตถุประสงค์และหลักการเลือกใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

การใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง มีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับการใช้เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการแตกต่างกันที่เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง ใช้ประเมินสิ่งแวดล้อมได้ขั้นต้น สะดวกและรวดเร็ว เพื่อนำผลการตรวจวัดไปใช้ในกระบวนการตัดสินใจ และแก้ปัญหาจากการปนเปื้อนของสารที่เป็นอันตรายได้ทันท่วงที

3.1 เพื่อค้นหาแหล่งกำเนิดสารอันตรายในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง

3.2 เพื่อตรวจสอบว่าค่าความเข้มข้นของสารปนเปื้อนหรือสารที่เป็นอันตรายในบรรยากาศการทำงาน เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้หรือไม่

3.3 เพื่อใช้ในการตรวจสอบสภาพการทำงานและสมรรถภาพของเครื่องมือที่ใช้สำหรับควบคุมหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนในบรรยากาศว่ายังคงทำงานอย่างมีประสิทธิภาพเหมือนเดิมหรือไม่

3.4 เพื่อตรวจสอบสภาวะแวดล้อมของสถานที่ต้องเข้าไปปฏิบัติงาน ในกรณีฉุกเฉิน ว่ามีสภาพบรรยากาศที่จะเป็นอันตรายต่อผู้ที่จะเข้าไปปฏิบัติงานหรือไม่ เพื่อใช้ติดตั้งที่จุดใดจุดหนึ่ง สำหรับติดตามตรวจสอบสภาวะแวดล้อมของบริเวณนั้นๆ อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาการทำงาน ซึ่งการติดตามตรวจสอบจะทำด้วยเหตุผลข้อหนึ่งข้อใด คือ ติดตั้งร่วมกับระบบเตือนภัย (Alarm System) สำหรับเตือนภัยในกรณีที่ระบบควบคุมสารที่เป็นอันตรายเกิดการขัดข้อง และมีสารที่เป็นอันตรายรั่วไหลออกมายังบรรยากาศของการทำงาน หรือเพื่อที่จะบันทึกค่าความเข้มข้นของสิ่งปนเปื้อนในบรรยากาศของสถานที่ทำงาน ในลักษณะเอกสารถาวร เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยทางการระบาดอื่นๆ ที่เกี่ยวกับอาชีวอนามัยและกฎหมาย เป็นข้อมูลสำหรับปรับปรุงประสิทธิภาพระบบควบคุมสิ่งปนเปื้อน เป็นต้น

3.5 เพื่อตรวจสอบสภาวะภายในที่อับอากาศว่าเหมาะสมและปลอดภัยเพียงพอที่จะเข้าไปดำเนินการการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ซึ่งการติดตามตรวจสอบนี้จะทำด้วยเหตุผล เพื่อวัดระดับความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนว่ามีความเข้มข้นเพียงพอ และเหมาะสมแก่ผู้ปฏิบัติงาน ในการที่จะดำเนินงานอย่างต่อเนื่องในที่อับอากาศเพื่อวัดระดับความเข้มข้นของสารพิษที่เจือปนอยู่ในสถานที่อับอากาศว่าลดลงต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ และช่วยในการตัดสินใจที่จะเจือจางสารพิษด้วยมาตรการอื่น ซึ่งจะทำให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าปฏิบัติหน้าที่ได้ การวัดเพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบคุณภาพอากาศในที่อับอากาศนั้น ต้องดำเนินการทั้งก่อนเข้าปฏิบัติงาน (Initial Entry Testing) และตรวจวัดต่อเนื่องระหว่างปฏิบัติงานตลอดเวลา เพื่อยืนยันสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ตลอดเวลาการทำงานในที่อับอากาศ (Confined Space Testing)

4. หลักการเลือกใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

เนื่องจากการใช้เครื่องมืออ่านค่าตรง ทำให้สามารถประเมินค่าความเข้มข้นของสารที่เป็นอันตรายในบริเวณหนึ่งๆ ได้ทันที เพื่อให้สามารถดำเนินการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขหรือหยุดสาเหตุ และขั้นตอนที่เป็นอันตรายได้อย่างทันท่วงที เป็นการป้องกันไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานสัมผัสกับสารที่เป็นอันตรายในปริมาณมาก ซึ่งเป็นการลดความเสี่ยงต่อความเจ็บป่วยจากการได้รับสารที่เป็นอันตรายลง

ฉะนั้นการเลือกใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง และการแปลผลที่ตรวจวัดได้นั้นจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะมีเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงจำนวนมากที่ไม่สามารถวัดผลต่อความเข้มข้นสารปนเปื้อนอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยขจัดการรบกวนจากสารปนเปื้อนอื่นๆ ในบริเวณเดียวกันออกไปได้ ดังนั้นก่อนที่จะนำผลที่ตรวจวัดไดไปใช้ ในการให้ข้อเสนอแนะที่ต้องการ ความเชื่อมั่นสูง ก็ควรจะทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม เพื่อให้ได้รับข้อมูลสนับสนุนจากวิธีการตรวจวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องเชื่อถือได้มากขึ้น

ผู้ทำการตรวจวัดหรือนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมที่ยังไม่คุ้นเคยในการตรวจวัด หรือยังมีประสบการณ์ไม่เพียงพอกับกระบวนการผลิต หรือในกรณีมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต หรือมีการเปลี่ยนสารเคมีที่

ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในกรณีเหล่านี้จะต้องระมัดระวังในการนำผลที่ตรวจวัดได้ไปใช้มากขึ้น รวมถึงการเลือกเครื่องมือที่เหมาะสม ทั้งในด้าน สารเคมีเฉพาะและระดับการตรวจวัดที่เหมาะสม

5. ชนิดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง

ในการแบ่งชนิดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ การแบ่งตามลักษณะทางกายภาพของสารปนเปื้อนในบรรยากาศที่ต้องการตรวจวัด การแบ่งประเภทตามคุณสมบัติของสารปนเปื้อนในบรรยากาศที่ต้องการตรวจวัดและการแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องมือรายละเอียดดังนี้

5.1 แบ่งประเภทตามลักษณะทางกายภาพของสารปนเปื้อนในบรรยากาศที่ต้องการตรวจวัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

5.1.1 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่ใช้วัดอนุภาคสำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดอนุภาคนั้น หมายถึงเครื่องมือที่ใช้วัดอนุภาคทั้งที่อยู่ในสถานะของแข็งและของเหลว ซึ่งรวมไปถึง ฝุ่น (Dust) ฟูม (Fume) ควัน (Smoke) มิสต์ (Mist) และ ฟ็อก (Fog)

5.1.2 เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่ใช้วัดก๊าซและไอส่วนเครื่องมือที่ใช้วัดก๊าซและไอนั้น เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดก๊าซทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณภูมิห้อง และความดันบรรยากาศปรกติและที่เป็นไอ ซึ่งเป็นก๊าซที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลว หรือของแข็งภายใต้สภาวะแวดล้อมใดๆ โดยการระเหยหรือกลายเป็นไอเนื่องจากอิทธิพลความดันไอของตัวเอง

5.2 การแบ่งประเภทตามคุณสมบัติของสารปนเปื้อนในบรรยากาศที่ต้องการตรวจวัดสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

5.2.1 สารปนเปื้อนที่อยู่ในประเภทสารพิษ (Toxic Substance) เป็นสารปนเปื้อนที่สามารถก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายตามลักษณะความเป็นพิษของสารเคมีปนเปื้อนนั้นๆ ตัวอย่างของสารที่สามารถตรวจวัดได้ โดยเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง คือ เบนซีน (Benzene) สารปรอท (Mercury)

5.2.2 สารปนเปื้อนที่อยู่ในประเภทสารไวไฟ (Combustible Substance) เป็นสารปนเปื้อนที่อันตรายหลักที่เกิดขึ้นได้ง่ายและเด่นชัด ส่งผลต่อสถานการทำงานที่เสี่ยงต่อการลุกติดไฟ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ ได้แก่ มีเทน (Methane) โพรเพน (Propane) แอลพีจี (LPG) ไฮโดรเจน (Hydrogen)

5.2.3 ปริมาณออกซิเจนในบรรยากาศการทำงาน (Oxygen) ก๊าซออกซิเจนเป็นก๊าซที่มีความจำเป็นต่อการหายใจของมนุษย์ จำเป็นต้องมีระดับความเข้มข้นที่เหมาะสม คือ ระหว่าง 19-23% หากมีค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 19% หรือสูงกว่า 23% ของอากาศที่ใช้ในการหายใจ ผู้ปฏิบัติงานอาจเกิดอันตรายได้ จึงต้องพิจารณาเครื่องช่วยหายใจในการทำงาน หรือปรับสภาพการทำงานให้เหมาะสมก่อน

5.3 การแบ่งตามหลักการทำงานของเครื่องมือ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

5.3.1 แบ่งตามหลักทางกายภาพ ได้แก่ ชนิดที่ใช้หลักการเทียบสี (Colorimetric Type) ชนิดที่ใช้หลักการความร้อน (Thermal Type) ชนิดที่ใช้หลักการไฟฟ้า (Electrical Type) ชนิดที่ใช้หลักการมองเห็น (Optical Type) ชนิดที่ใช้หลักการวัดความเข้มข้นของแสง (Photometric Type)

5.3.2 แบ่งตามหลักทางกายภาพและเคมี ได้แก่ เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่ใช้หลักการทางกายภาพเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่ใช้หลักการเปลี่ยนสีทางเคมี

5.3.3 แบ่งตามกลไกการนำสารตัวอย่างเข้าในเครื่องมือ ได้แก่ เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (Passive Sampling) เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (Active Sampling)

การเลือกใช้อุปกรณ์อ่านค่าโดยตรงให้เหมาะสมกับก๊าซและไอหรืออนุภาคที่ทำการตรวจวัดและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดต่างๆ ข้อดีและข้อจำกัดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง วัตถุประสงค์และหลักการเลือกใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง หลักการเลือกใช้เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง ชนิดของเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง ตลอดจนระบบความปลอดภัยของเครื่องมือและวิธีการสอบเทียบเครื่องมือ เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่มีความสำคัญในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม คือ หลอดตรวจวัด เครื่องวัดก๊าซไวไฟชนิดต่างๆ วัดออกซิเจน และก๊าซพิษต่างๆ เครื่องวัดที่ใช้หลักการ Photo Ionization และ Flame Ionization

การส่งตัวอย่างวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการ

เมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่มิใช่วิธีอ่านค่าโดยตรง จะต้องส่งตัวอย่างที่เก็บมาให้กับห้องปฏิบัติการเพื่อทำการวิเคราะห์ต่อไป การส่งตัวอย่างจึงมีความสำคัญที่ต้องดำเนินการอย่างถูกต้อง มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวอย่างนั้นๆ เช่น การสูญหายของตัวอย่าง การฉีกขาดของกระดาษกรอง ขวดแก้วบรรจุสารละลายแตก สารละลายที่ใช้เก็บตัวอย่างแล้วหกหรือรั่วไหล เป็นต้นการส่งตัวอย่างสารเคมีในอากาศไปห้องปฏิบัติการที่ถูกต้องที่สุดคือ การปฏิบัติตามเอกสารขั้นตอนการส่งตัวอย่าง (Procedure หรือ Work Instruction) ที่ห้องปฏิบัติการนั้นๆ กำหนดไว้ ทั้งนี้ด้วยเงื่อนไขว่าขั้นตอนดังกล่าวทางห้องปฏิบัติการกำหนดขึ้นอย่างถูกหลักวิชาการ

1. หลักการทั่วไปสำหรับส่งตัวอย่างไปห้องปฏิบัติการ

ความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ หลักสำคัญคงต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของห้องปฏิบัติการที่จะส่งตัวอย่าไปวิเคราะห์ ถึงแม้ว่าวิธีการวิเคราะห์จะเป็นไปตามมาตรเดียวกัน แต่อาจจะมีการใช้อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน เพื่อให้ตัวอย่างที่เก็บมาสามารถวิเคราะห์ได้อย่างแม่นยำที่สุดจึงต้องให้อยู่ในสภาพที่ดี

ที่สุดก่อนถึงห้องปฏิบัติการมิให้เกิดปัญหาที่มีผลต่อตัวอย่าง จะส่งผลให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องจึงมีแนวปฏิบัติดังนี้

1.1 การติดฉลากภาชนะบรรจุตัวอย่าง เนื่องจากมีจำนวนตัวอย่างมากมายที่ห้องปฏิบัติการต้องทำการวิเคราะห์ จึงต้องติดฉลากที่จะทำให้สามารถระบุได้ว่าตัวอย่างนั้นๆ เป็นตัวอย่างจากที่ใด วัดที่จุดไหน มิฉะนั้นหากติดสลับตัวอย่างหรือไม่มีข้อมูลข้างต้นก็จะทำให้ไม่ทราบว่าผลการตรวจวิเคราะห์เป็นสถานที่ใดหรือที่ที่บุคคลใดทำงานข้อมูลที่ต้องระบุในฉลากควรประกอบด้วย

1.1.1 วัน เดือน ปี

1.1.2 ลำดับที่

1.1.3 สถานที่

1.1.4 จุดที่ทำการเก็บตัวอย่าง

1.2 การจัดเก็บในภาชนะที่มั่นคงและปลอดภัย เพื่อให้ตัวอย่างที่เก็บมาอยู่ในสภาพที่ดีที่สุดก่อนถึงห้องปฏิบัติการ ต้องจัดเก็บตัวอย่างเหล่านั้นในภาชนะที่มั่นคงและปลอดภัย มิฉะนั้นตัวอย่างอนุภาคในกระดาษกรอง อาจหลุดล่วงออกจากกระดาษกรอง หรือตัวอย่างก๊าซและไอระเหยในสารละลายอาจสูญหายหรือสารละลายหกรั่วไหลขณะขนส่ง ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง

1.3 การจัดส่งตัวอย่างเปล่า (Blank Samples) เพื่อความมั่นใจในผลการตรวจวิเคราะห์ควรมีการจัดส่งตัวอย่างเปล่าให้กับห้องปฏิบัติการ แต่ไม่ต้องระบุว่าเป็นตัวอย่างเปล่า ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาการลำเอียงที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการวิเคราะห์ตัวอย่างเปล่าที่จะส่งห้องปฏิบัติการมี 2 แบบดังนี้

1.3.1 ตัวอย่างเปล่าคือ หลอดเก็บตัวอย่างที่ยังปิดสนิทหรือกระดาษกรองที่ยังไม่ได้เปิดจากตลับในที่ที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ เพื่อตรวจวิเคราะห์ว่ามีการรบกวน (Interference) จากการปนเปื้อนของน้ำยาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการหรือไม่

1.3.2 ตัวอย่างเปล่าคือ หลอดเก็บตัวอย่างที่หักปลายออก หรือกระดาษกรองที่เปิดฝาตลับออก ณ จุดที่ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ โดยไม่มีการดูดอากาศเข้ามาในตัวอย่าง ตัวอย่างเปล่าแบบนี้เรียกอีกชื่อว่า Field Blank ทำการจัดส่งไปห้องปฏิบัติการเพื่อค้นหาว่ามีความผิดพลาดจากการเก็บตัวอย่าง (Sampling Errors) เนื่องจากภาระ (Loading) จากสภาวะสิ่งแวดล้อมและหรือจากการขนส่ง (Shipping) หรือขนย้าย (Handling) ยกตัวอย่างเช่น เคยมีรายงานว่าการใช้ปากกาเมจิกเขียนฉลากติดที่ตัวอย่างที่เป็นแผ่นพาสซีป ปรากฏว่ามี ไอระเหยจากปากกาเมจิกระเหยขณะทำการขนส่งและไปสะสมที่ตัวอย่าง และตัวอย่างเปล่าที่เป็นถ่านทำให้ผลการวิเคราะห์ปรากฏเป็นผิดพลาด (False Positive)

1.4 การขนส่งตัวอย่างด้วยความระมัดระวัง และปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนดไว้เพื่อมิให้เกิดปัญหาที่มีผลต่อตัวอย่าง เช่น การขนส่งโดยตัวอย่างถูกแดดถูกฝน อาจทำให้ตัวอย่างสูญหาย เสื่อมสภาพหรือขนส่งไม่ดี ตัวอย่างตกหล่นทำให้สูญเสียตัวอย่าง

2. ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐาน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารเคมีที่ได้มาจากการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งของความแม่นยำในการประเมินการสัมผัสสารเคมี เพราะหากผลการวิเคราะห์ไม่มีความถูกต้องอันเนื่องมาจากเหตุใดก็ตามจะส่งผลให้การประเมินการสัมผัสผิดพลาดตามไปด้วย และแน่นอนว่าการตัดสินใจใดๆ ในการคุ้มครองดูแลสุขภาพของผู้สัมผัสสารเคมีย่อมผิดพลาดไปด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานย่อมเป็นมาตรการพื้นฐานที่สำคัญที่ต้องคำนึงเสมอ ซึ่งความเป็นมาตรฐานของห้องปฏิบัติการอาจพิจารณาจากการมีมาตรฐานวิธีการตรวจวิเคราะห์ (Standard Operating Procedures) การขนส่ง จัดเก็บ และการดูแลตัวอย่าง การสอบเทียบอุปกรณ์เครื่องมือ การบำรุงรักษาอุปกรณ์เครื่องมือ ระบบการควบคุมคุณภาพ โปรแกรมการทดสอบภายในและภายนอก เป็นต้น ในต่างประเทศ เช่น ในสหรัฐอเมริกาจะมีการรับรองมาตรฐานห้องปฏิบัติการทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรม (Proficiency Analytical Testing Program)โดยสมาคมสุขศาสตร์อุตสาหกรรมอเมริกัน (American Industrial Hygiene Association: AIHA)ซึ่งเป็นที่ยอมรับขององค์กรทั้งภาครัฐและเอกชนในสหรัฐอเมริกา สำหรับห้องปฏิบัติการในประเทศโดยที่ได้มาตรฐานนั้นอาจพิจารณาได้จากการได้รับการรับรองมาตรฐาน (International Organization For Standardization: ISO) และหรือเป็นห้องปฏิบัติการที่ขึ้นทะเบียนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างน้อย

3. การรายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่างที่ส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ทางเคมีนั้น ทางห้องปฏิบัติการจะดำเนินการวิเคราะห์และรายงานผลออกมาเป็น “จำนวน” หรือ “ปริมาณ”(Amount) ของสารเคมีที่ระบุให้วิเคราะห์ที่มีอยู่ในตัวอย่างนั้นๆ มีหน่วยเป็นน้ำหนัก (weight) หรือหน่วยมวล (Mass unit) เช่น มิลลิกรัม หรือไมโครกรัม กรณีที่เป็นการนับด้วยแสง (Optical Counting Techniques) ในรายงานผลการวิเคราะห์จะระบุหน่วยเป็นจำนวนเส้นใย (Fibres) หรือกลุ่ม (Edonies) ที่พบในตัวอย่างตามวิธีการนับ (Counting Protocol) ที่ใช้ในฐานะนักสุขศาสตร์อุตสาหกรรมหรือ จป.ระดับวิชาชีพ หากทางห้องปฏิบัติการไม่รายงานผลเป็นความเข้มข้นของสารเคมีในอากาศมาให้ก็ต้องดำเนินการเองผลการคำนวณจะได้ความเข้มข้นสารเคมีในอากาศเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานต่อไป อย่างไรก็ตามมาตรฐานสารเคมีบางชนิดจะมีหน่วยเป็นพีพีเอ็ม (Parts of Contaminant per Million parts of Contaminated Air–yy Volume: ppm) จึงต้องใช้สูตรเพื่อเปลี่ยนหน่วยมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นพีพีเอ็ม หรือเปลี่ยนหน่วยตามมาตรฐานที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบการอ้างอิง

การใช้ห้องปฏิบัติการที่ได้มาตรฐานย่อมเป็นมาตรการพื้นฐานที่สำคัญที่ต้องคำนึงเสมอ ซึ่งความเป็นมาตรฐานของห้องปฏิบัติการอาจพิจารณาจากการมีมาตรฐานวิธีการตรวจวิเคราะห์ ผู้ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ โดยเป็นหลักสำคัญต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของห้องปฏิบัติการที่จะส่งตัวอย่าไปวิเคราะห์

เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์การสัมผัสด้านอาชีวอนามัยเป็นแนวทางในการประเมิน โดยใช้ตัวชี้วัดทางชีวภาพที่สำคัญ ได้แก่ ประเภท ชนิดของสารเคมีที่มีการใช้ รูปแบบ ปริมาณ กระบวนการที่เกี่ยวข้อง ฯลฯ ซึ่งสารเคมีที่มักพบบ่อยในงานอุตสาหกรรมและมีแนวโน้มการสัมผัสที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน ประกอบด้วยสารกลุ่มโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แมงกานีส ฯลฯ และสารตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ เช่น เบนซีน โทลูอีน สไตรีน ฯลฯ นอกจากนี้ ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อแนวโน้มการสัมผัสเช่น ทั้งนี้ ระยะเวลาการจัดสภาพแวดล้อมการทำงาน การควบคุมทางด้านวิศวกรรมและการบริหารจัดการเป็นต้นการตรวจวัดด้วยเครื่องมืออ่านค่าได้โดยตรงจึงไม่สามารถประเมินทางด้านชีวภาพได้ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญสำหรับการประเมินทางชีวภาพ เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมตัวแปรเพื่อป้องกันความผิดพลาด รายละเอียดดังนี้

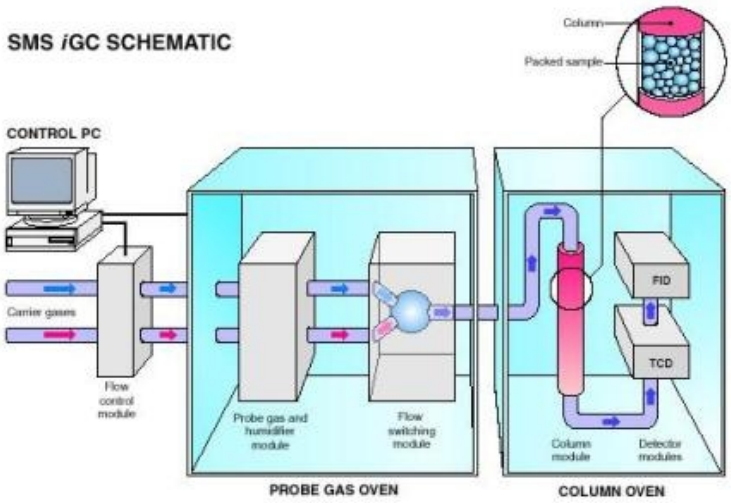
1.เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ (Gas Chromatograph)

Gas Chromatograph เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหยได้ง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) และกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถระเหยได้ปานกลาง (Semi-Volatile Organic Compounds: SVOCs) หลักการของเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ ใช้เทคนิคการแยกองค์ประกอบของสารผสม โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการเคลื่อนที่ของแต่ละองค์ประกอบของสารผสมบนเฟสคงที่ (Stationary Phase) ภายใต้การพาของเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) สำหรับเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟเฟสคงที่ คือ สารที่อยู่ภายในคอลัมน์ ส่วนเฟสเคลื่อนที่ คือ แก๊สฮีเลียม เมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ผ่านเข้าสู่เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟสารดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (Liquid) เป็นแก๊ส (Gas) และส่วนแก๊สของสารผสมจะถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สฮีเลียม ซึ่งภายในคอลัมน์จะเกิดการแยกสารผสม (Separation) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยา (Interaction) ระหว่างสารที่อยู่ภายในคอลัมน์ (Stationary phase) และสารผสม (ภาพที่ 1.1-1.2) ซึ่งสารที่สามารถวิเคราะห์ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ ได้แก่

1.1 Hydrocarbon Compounds : C7-C40, Diesel Fuel

1.2 Organohaline Pesticides , Aldehyde, Ketone

1.3 Volatile Organic Compounds (VOCs) : Benzene, Toluene, Ethylbenzene



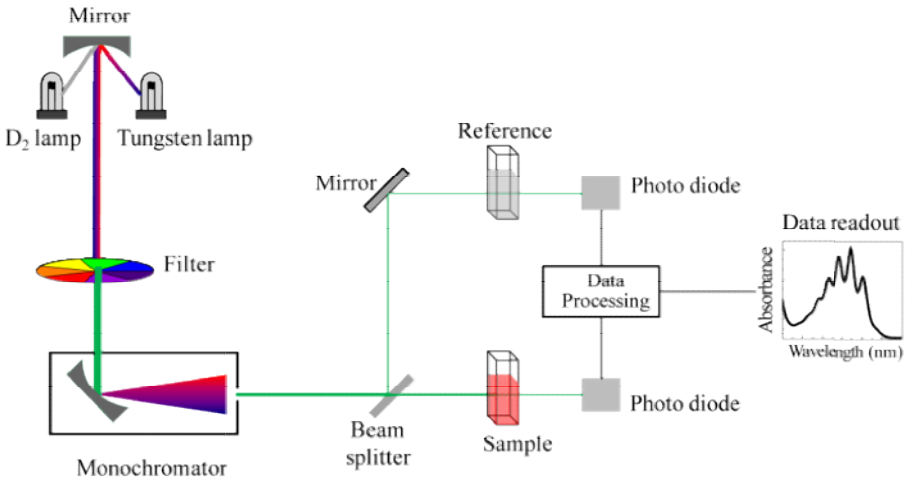
ภาพที่ 1.1 หลักการทำงานเครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ
ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, (2555)

ภาพที่ 1.2 เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ
ที่มา: แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ, (2555)

2. เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางสเปกโตรสโคป

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ทางเคมี ที่ใช้ในการวิเคราะห์เคมีและเคมีกายภาพ เพื่อใช้ในการระบุถึงส่วนประกอบของสสาร โดยจะพิจารณาจากลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่สสารนั้นแผ่ออกมาหรือถูกดูดกลืนเข้าไป โดยแต่ละสสารจะมีลักษณะของเส้นสเปกตรัมที่แตกต่างกัน ทำให้เราสามารถระบุชนิดของส่วนประกอบต่างๆ ในตัวอย่างได้เครื่องมือวิเคราะห์ที่ใช้เทคนิคได้แก่

2.1 เครื่อง UV/VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่างซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ (ภาพที่ 1.3-1.4)



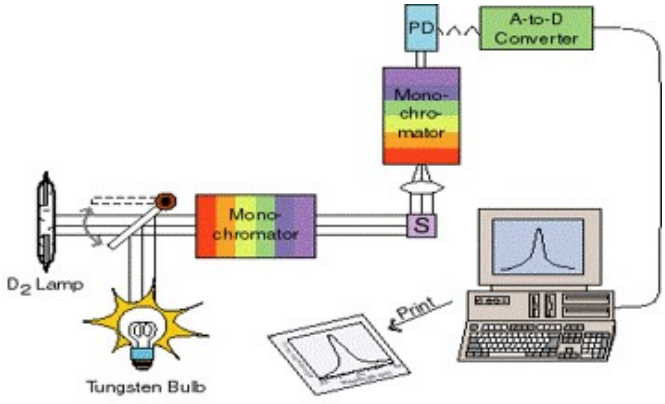
ภาพที่ 1.3 หลักการทำงานของเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer

ที่มา: SHIMADZUEurope, (2017)

ภาพที่ 1.4 เครื่อง UV/VIS-1700Spectrophotometer

ที่มา: SHIMADZU Europe, (2017)

2.2 เครื่องวัดการเรืองแสงของสาร (Fluorescence Spectrophotometer) ใช้สำหรับวัดค่าการเรืองแสงของสารในรูปแบบต่างๆ โดยอาศัยการกระตุ้นจากแหล่งกำเนิดแสง หรือปฏิกิริยาเคมี เหมาะสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณโดยสามารถหาได้ทั้งเชิงปริมาณโดยตรง (Direct Method) และโดยอ้อม (Indirect Method) สามารถวิเคราะห์สารอินทรีย์และอนินทรีย์ได้ วิธีนี้มีสภาพไวสูง มีความเที่ยง ความแม่นสูง เหมาะสำหรับงานวิเคราะห์สารปริมาณน้อย (Trace Analysis)แหล่งกำเนิดแสงของฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะคล้ายๆ กับยูวี วิสิเบิล โดยผ่านโมโนโครมาเตอร์เพื่อเลือกความยาวคลื่นที่ต้องการในการกระตุ้น (Excitation) ก่อนส่งไปยังตัวอย่าง และวัดแสงที่ได้จากการปลดปล่อยจากสารตัวอย่าง (Emission) ซึ่งต้องตั้งอยู่ในตำแหน่ง 90° และเข้าสู่ตัวตรวจวัดซึ่งมีการขยายสัญญาณให้สูงขึ้นเนื่องจากความเข้มแสงของการเรืองแสงจะต่ำมาก

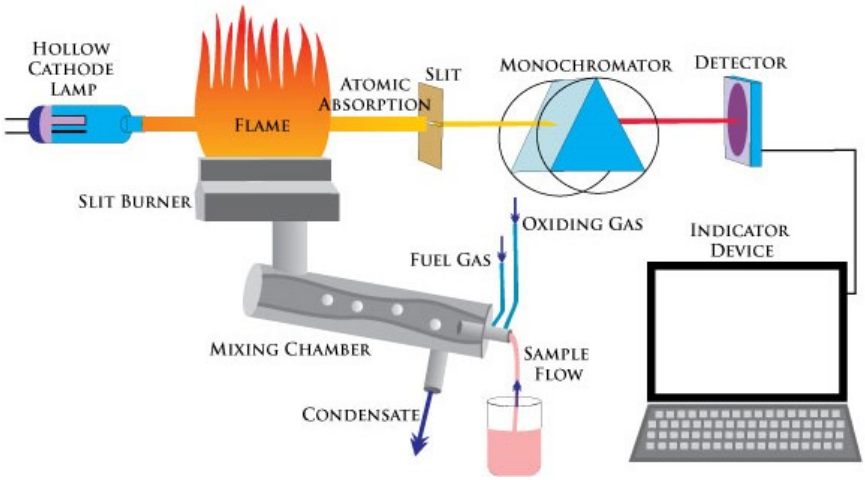


ภาพที่ 1.5 หลักการทำงานเครื่องวัดการเรืองแสงของสาร

ที่มา: QES (THAILAND), (2560)

ภาพที่ 1.6 เครื่องวัดการเรืองแสงของสาร
ที่มา: QES (THAILAND), (2560)

2.3 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) เครื่อง AAS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ (Metal Element) ที่อยู่ในตัวอย่างทดสอบ ด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectroscopy ซึ่งเป็นกระบวนการที่อะตอมอิสระ (Free atom) ของธาตุ ดูดกลืน (Absorb) แสงที่ความยาวคลื่นระดับหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับธาตุแต่ละธาตุเนื่องจากธาตุแต่ละชนิดมีระดับของพลังงานแตกต่างกันจึงมีการดูดกลืนพลังงานได้แตกต่างกัน พลังงานที่พอดีกับคุณสมบัติเฉพาะของธาตุจะทำให้อิเล็กตรอนของธาตุนั้นๆ เปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้น (Ground state) ไปเป็นสถานะกระตุ้น (Exited state) ดังนั้นการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนสารละลายหรือตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ให้เป็นอะตอมอิสระ จากนั้นอะตอมอิสระจะดูดกลืน (Absorb) พลังงานที่ระดับพลังงานจำเพาะ ยิ่งมีอะตอมอิสระมากก็ยิ่งมีค่าการดูดกลืน (Absorbance) มาก จึงใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณของธาตุนั้นๆ ได้ส่วนประกอบของเครื่อง AAS จึงต้องประกอบไปด้วยส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ ส่วนที่ทำให้เกิดพลังงานแสงที่อะตอมอิสระจะสามารถดูดกลืนได้ ส่วนที่ใช้ในการแยกความยาวคลื่นของแสง ส่วนที่ต้องตรวจจับค่าการดูดกลืน (Absorbance) รวมทั้งส่วนประมวลผลแสดงดังภาพที่ 1.7-1.8



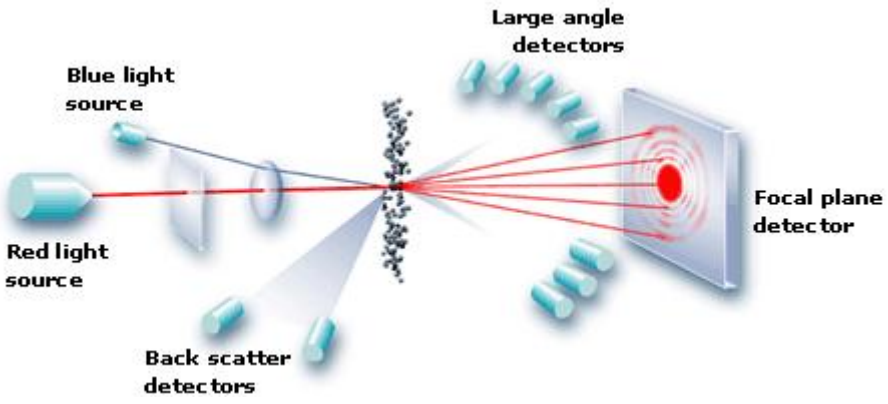
ภาพที่ 1.7 หลักการทำงานของเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)
ที่มา: Bijaya Kumar Uprety, (2017)

ภาพที่ 1.8 เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)ST-AAS 7000 SERIES
ที่มา: LAB-KITS, (2017)

3. เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle size analyzer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่าง โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของเลเซอร์ (LASER Diffraction) จากแหล่งกำเนิดเลเซอร์ชนิดแก๊สฮีเลียม (He-Ne Laser) ซึ่งเป็นแสงสีแดง มีความยาวคลื่น 632.82 nm ลำแสงจะถูกขยายขนาดโดย Beam Expander แล้วส่องผ่านไปยังอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอย (Emulsion) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวมีความโปร่งใสและมีค่าดัชนีหักเหแตกต่างจาก

อนุภาค จนเกิดการกระเจิงของแสงที่บริเวณผิวของอนุภาคได้และไม่ทำปฏิกิริยากับอนุภาคของสารที่ต้องการวิเคราะห์ นอกจากนี้ปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคจะต้องสูงพอที่จะได้ข้อมูลเชิงสถิติที่ดี เมื่อแสงเลเซอร์เดินทางผ่านอนุภาคที่เป็นสารแขวนลอย จะเกิดปรากฏการณ์กระเจิงของแสง โดยแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะมีรูปแบบของความเข้มที่มุมต่างกันขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค แต่ละมุมของการกระเจิงจะมีสัดส่วนผกผันกับขนาดของอนุภาค ซึ่งสมบัติการกระเจิงของแสงจากอนุภาคนี้สามารถใช้ในการคำนวณหาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคได้ โดยลำแสงที่กระเจิงจากอนุภาคจะถูกส่งผ่านไปยังเลนซ์รวมแสง (Condenser Lens) ทำให้เกิดภาพปรากฏเป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบพาร์ฟิลด์ (Far Field Diffraction Pattern) ที่ Photocell Detector ซึ่งวางอยู่บนระนาบที่ตั้งฉากกับเส้นทางเดินของแสงเลเซอร์ ที่จุดโฟกัสของการเลี้ยวเบนจะมีลักษณะเป็นวงมืดสว่างสัมพันธ์กับการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เลน-ซ์รวมแสงได้ถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติพิเศษคือ ไม่ว่าอนุภาคจะก่อให้เกิดการกระเจิงที่บริเวณใดในลำแสงเลเซอร์ก็ตาม รูปแบบการเลี้ยวเบนจะไม่เคลื่อนไหว และมีจุดศูนย์กลางอยู่บนแกนออฟติกของเลนซ์เสมอ จากการกระเจิงของแสงที่ได้สามารถคำนวณหาขนาดอนุภาคได้ตามทฤษฎีของมี (Mie Theory) โดยใช้ค่าดัชนีหักเห (Refractive Index) และค่าการดูดซับแสง (Absorption Index) ของอนุภาคและตัวกลางร่วมด้วยเครื่อง Particlesize Distribution Analyzer สามารถทำการวิเคราะห์ทดสอบตัวอย่างได้ทั้ง แบบผงและสารแขวนลอย โดยมีระบบการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ แบบเปียกและแบบแห้ง แสดงหลักการทำงานดังภาพที่ 1.9-1.10



ภาพที่ 1.9 หลักการทำงานของเครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค

ที่มา: Lab Bulletin. (2017)

ภาพที่ 1.10 เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค
ที่มา: Lab Bulletin, (2017)

การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญสำหรับการประเมินทางชีวภาพ เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ระเหย วิเคราะห์เคมีและเคมีกายภาพ เพื่อใช้ในการระบุถึงส่วนประกอบของสสาร และเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของสารตัวอย่าง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

สรุป

การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์เป็นงานที่เกี่ยวกับสภาพแวดล้อมในการทำงานของคนงานหรือพนักงานในสถานประกอบการสำหรับการดูแล ตรวจสอบ และปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงานเพื่อให้เกิดความปลอดภัย ประเภทของการตรวจวัดและเก็บตัวอย่างได้ 2 แบบ คือแบ่งตามลักษณะของการเก็บตัวอย่างแบ่งตามระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยใช้เครื่องมือประเภท คือ เครื่องมือ 2 อ่านค่าโดยตรง เป็นเครื่องมือที่รวมเอาการเก็บตัวอย่างอากาศ วิเคราะห์แปลผลได้ในเครื่องมือเดียวกันและประมวลผลการตรวจและแสดงให้เห็นได้ทันทีที่ทำการตรวจวัดระบุค่าความเข้มข้นของสารที่ตรวจวัดได้ชัดเจนและตรงกับความเป็นจริงการตรวจวัดด้วยเครื่องมืออ่านค่าได้โดยตรงจึงไม่สามารถประเมินทางด้าน

ชีวภาพได้ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญสำหรับการประเมินทางชีวภาพ เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมตัวแปรเพื่อป้องกันความผิดพลาด การส่งตัวอย่างจึงมีความสำคัญที่ต้องดำเนินการอย่างถูกต้อง มิฉะนั้นอาจเกิดความเสียหายขึ้นกับตัวอย่างนั้นๆ ความถูกต้องแม่นยำในการวิเคราะห์ หลักสำคัญคงต้องปฏิบัติตามคำแนะนำของห้องปฏิบัติการที่จะส่งตัวอย่าไปวิเคราะห์ ถึงแม้ว่าวิธีการวิเคราะห์จะเป็นไปตามมาตรเดียวกัน แต่อาจจะมีการใช้อุปกรณ์เครื่องวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน

คำถามทบทวน

1. การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์มีความสำคัญอย่างไร
2. การตรวจวัดด้วยเครื่องมืออ่านค่าได้โดยตรงมีข้อดีและจำกัดอย่างไร
3. การวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการมีวิธีความสำคัญอย่างไร
4. การตรวจวัดและเก็บตัวอย่างมีกี่ประเภทอะไรบ้างพร้องอธิบาย
5. การส่งตัวอย่างวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการมีหลักปฏิบัติอย่างไรบ้าง
6. การจัดส่งตัวอย่างเปล่า (Blanksamples) คืออะไรจงอธิบาย
7. การรายงานผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นสารเคมีในรายงานอย่างไร
8. เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟ (GasChromatograph) ใช้สำหรับวิเคราะห์อะไร
9. เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางสเปกโตรสโคปใช้สำหรับวิเคราะห์อะไร
10. เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particlesizeanalyzer) ใช้สำหรับวิเคราะห์อะไร

เอกสารอ้างอิง

สุมิตรา ตันติดิลกกุล. (2553). **สุขศาสตร์อุตสาหกรรม:การประเมิน, หน่วยที่ 13.** นนทบุรี. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

สราวุธ สุธรรมาสา. (2553). **สุขศาสตร์อุตสาหกรรม:การประเมิน, หน่วยที่ 8.** นนทบุรี. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

รจฤดี โชติกาวินทร์. (2558). **การเก็บตัวอย่างอากาศและการวิเคราะห์.** ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.น.139

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก).** นิยามศัพท์มาตรวิทยา : 235 เล่ม, 14-2531.

Rolf M.A. Hahne. (1996). **Direct Reading Instrument for Gases, Vapors, and Particulatesin Fundamental of Industrial Hygiene.** Fourth Edition. National Safety Council.

ISO/TR 14253-2:1998: Geometrical Product Specifications (GPS) - Inspection by measurement of workpieces and measuring instruments - Part 2: Guide to the estimation of uncertainty inGPS measurement, in calibration of measuring instruments and in product verification.

National Institute for Occupational Safety and Health. (1977).**Occupational Exposure Sampling Strategy Manual**. Cincinnati, OH.

Occupational Safety and Health Administration. (1997).**OSHA Technical Manual, Washington DC**.