บทที่ 12
การบำรุงรักษาและการจัดเก็บเครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม มีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีสูงมาก บางชนิดมีราคาสูงมีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ เครื่องมือจะมีส่วนประกอบที่สำคัญคืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงาน เมื่อมีการใช้งานไปอุปกรณ์เหล่านี้ก็จะเกิดการชำรุดเสียหายหรือเสื่อมสภาพไป ชิ้นส่วนบางอย่างถึงรอบการถอดเปลี่ยน เครื่องมือบางอย่างอาจจะเปลี่ยนไปจนเกิดสภาพไม่ปลอดภัย นอกจากนั้นยังส่งผลต่อความเม่นยำในการเก็บตัวอย่างหรือการตรวจวัดตามมา ด้วยราคาที่สูงและขบวนการได้มาซึ่งไม่สามารถจัดซื้อได้โดยง่าย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรักษาสภาพพร้อมใช้ให้คงอยู่กับการใช้งานอยู่ตลอดเวลา แม้ว่าผู้ใช้เครื่องมือจะมีความชำนาญในการใช้เครื่องมืออยู่แล้ว ผู้ใช้ยังต้องมีความรู้เรื่องการบำรุงรักษาเครื่องมือและจัดโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ดีและมีประสิทธิภาพจึงจะช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องมือไปได้ยาวนาน

คำและบทนิยาม

การบำรุงรักษา (Maintenance) หมายถึง การคงไว้ซึ่งสภาพเดิมหรือการรักษาไว้ให้คงอยู่เหมือนเดิม ในระบบการบำรุงรักษา นับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากและนับว่าการบำรุงรักษาเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นต้องมีและจำเป็นจะต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายเพื่อให้การรักษาระดับคุณภาพของระบบอย่างต่อไป จากความหมายข้างต้นจึงยกตัวอย่างของคำที่เกี่ยวข้องและใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์ในงานด้านความปลอดภัยไว้ดังนี้

1. การตรวจสภาพ (Inspection)

การตรวจสภาพ คือ การพิจารณาถึงสภาพการใช้ได้ของเครื่องมือโดยเปรียบเทียบคุณลักษณะทางฟิสิกส์ทางเคมี ทางจักรกล และทางไฟฟ้า ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้

2. การทดสอบ (Test)

การทดสอบ คือ การพิสูจน์สภาพการใช้การได้ของเครื่องมือ และค้นหาข้อบกพร่องทางไฟฟ้า ทางเคมีและทางจักรกล อาจจะต้องใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์อื่นๆ ทดสอบค่าต่างๆ

3. การบริการ (Service)

การบริการ คือ การทำความสะอาด การดูแลรักษาการประจุไฟฟ้า น้ำมันหล่อลื่น การเติมก๊าซ พ่นสี นอกจากนั้นยังหมายรวมถึงความต้องการบริการพิเศษต่างๆเช่น การสอบเทียบ เป็นต้น

4. การซ่อมแก้ (Repair)

การซ่อมแก้ คือการซ่อมเครื่องมือที่ชำรุดให้ใช้การได้ และยังหมายรวมถึง การปรับ การถอดเปลี่ยน การเชื่อม การย้ำ และการทำให้แข็งแรง

5. การซ่อมใหญ่ (Overhaul)

การซ่อมใหญ่ คือการซ่อมเครื่องมือที่ชำรุดให้ใช้การได้อย่างสมบูรณ์โดยกำหนดมาตรฐานการซ่อมบำรุงไว้เป็นเอกสารเฉพาะการซ่อมใหญ่อาจกระทำให้สำเร็จได้โดยการแยกส่วนประกอบ การตรวจสภาพส่วนประกอบการประกอบส่วนประกอบย่อย และชิ้นส่วนต่างๆ ทั้งนี้ จะต้องมีการตรวจสภาพและทดสอบการปฏิบัติการประกอบด้วย

6. การดัดแปลงแก้ไข (Modification)

การดัดแปลงแก้ไข คือการเปลี่ยนแปลงเครื่องมือตามคำสั่งการดัดแปลงนี้ต้องไม่เปลี่ยนลักษณะมูลฐานเดิมของเครื่องมือเพียงแต่เพื่อเปลี่ยนภารกิจหรือความสามารถในการทำงาน และเพิ่มความปลอดภัยแก่ผู้ใช้และเพื่อผลที่ต้องการตามแบบที่กำหนดในการดัดแปลงนั้น

7. การปรนนิบัติบำรุง (Preventive Maintenance)

การปรนนิบัติบำรุง คือการดูแลและการให้บริการโดยเจ้าหน้าที่ เพื่อมุ่งประสงค์ที่จะรักษาเครื่องมือให้อยู่ในสภาพใช้การได้ดี โดยจัดให้มีระบบการตรวจสภาพและการแก้ไขข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้น หรือที่จะชำรุดมากขึ้น

8. การถอดปรน (Cannibalization)

การถอดปรน คือ การถอดชิ้นส่วนส่วนประกอบ จากเครื่องมือครบชุดหรือองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องซึ่งสามารถซ่อมได้แต่ไม่คุ้มค่าหรือเครื่องมือรอที่จะจำหน่ายแล้ว เช่น อุปกรณ์แปลงไฟ เซ็นเซอร์ ชุดเก็บข้อมูลเพื่อรอนำไปใช้ประโยชน์ให้แก่เครื่องจักรอื่นๆ ต่อไป

คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องและใช้ในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมืออุปกรณ์ในงานด้านความปลอดภัย มีหลายคำแต่วัตถุประสงค์ในระบบการบำรุงรักษานั้นเหมือนกัน โดยการมุ่งให้คงไว้ซึ่งสภาพเดิมหรือการรักษาไว้ให้คงอยู่เหมือนเดิมในระบบให้สามารถใช้งานได้ในขณะที่มีความต้องการที่จะใช้

ประเภทของการบำรุงรักษาเครื่องมือ

อรัญ ขวัญปาน (2554) ได้สรุปเกี่ยวกับการบำรุงรักษาว่า แม้จะเกิดขึ้นมายาวนาน มีการเรียกชื่อที่แตกต่างกันออกไปตามยุคตามสมัย แต่สรุปออกมาตามลักษณะของกิจกรรมที่ต้องดำเนินการในการบำรุงรักษานั้นๆ เพราะระบบการบำรุงรักษาจะบรรลุผลได้ จะต้องผ่านกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบประสมประสานของประเภทการบำรุงรักษาต่างๆ เข้าด้วยกัน หากจะใช้เพียงการบำรุงรักษาประเภทใดประเภทหนึ่ง

เพียงอย่างเดียวจะทำให้ขาดประสิทธิภาพในการดูแลรักษาเครื่องมืออุปกรณ์ จึงจำแนกระบบการบำรุงรักษาแต่ละประเภทไว้ดังนี้

1. การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (Breakdown Maintenance : BM)

BM เป็นระบบการบำรุงรักษาเพียงประเภทเดียวที่ไม่มีกิจกรรมใดๆ กับตัวเครื่องมือในขณะที่ยังใช้งานได้ตามปกติ แต่จะมีการจัดเตรียมกิจกรรมบำรุงรักษาไว้เพื่อรอการแก้ไขต่างๆ เมื่อตัวเครื่องมือขัดข้องหรือไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ (Breakdown) จึงเป็นเพียงการแก้ไขให้เครื่องมือนั้นกลับมาใช้งานได้ดังเดิม หรืออาจจะเรียกอีกอย่างว่าการแก้ไขเมื่อขัดข้อง อย่างไรก็ตามการจัดเตรียมกิจกรรมที่จำเป็นเมื่อเกิดความเสียหายของเครื่องมือนั้น สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกคือจะต้องใช้เวลาแก้ไขให้น้อยที่สุด ฝ่ายบำรุงรักษาเครื่องมือจึงต้องทราบถึงสภาพความเสียหายของเครื่องมือ และต้องทราบถึงสิ่งที่จำเป็นในการจัดเตรียมให้พร้อมอยู่เสมอ

2. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM)

PM เป็นการบำรุงรักษาที่พัฒนาขึ้นมาจากการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง เนื่องจากไม่ต้องการให้เครื่องมือเสียหายในขณะกำลังตรวจวัดหรือเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็นการบำรุงรักษาประจำวัน การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา และการกำหนดเวลาหยุดซ่อมหรือเปลี่ยนก่อนที่จะเกิดการเสียหายของชิ้นส่วนสำคัญๆ การดำเนินการกิจกรรมดังกล่าวก่อนที่เครื่องมือจะเกิดชำรุดเสียหายป้องกันสามารถทำได้ด้วยการตรวจสภาพเครื่องมือ การทำความสะอาดและหล่อลื่นโดยถูกวิธี การปรับแต่งให้เครื่องมือตามคำแนะนำของคู่มือรวมทั้งการบำรุงและเปลี่ยนชิ้นอะไหล่ตามกำหนดเวลา เช่น การเปลี่ยนอุปกรณ์เซนเซอร์ เปลี่ยนชิ้นส่วนที่สึกหรอของมอเตอร์ การอัดจารบี เปลี่ยนระบบกรองก๊าซ เป็นต้น

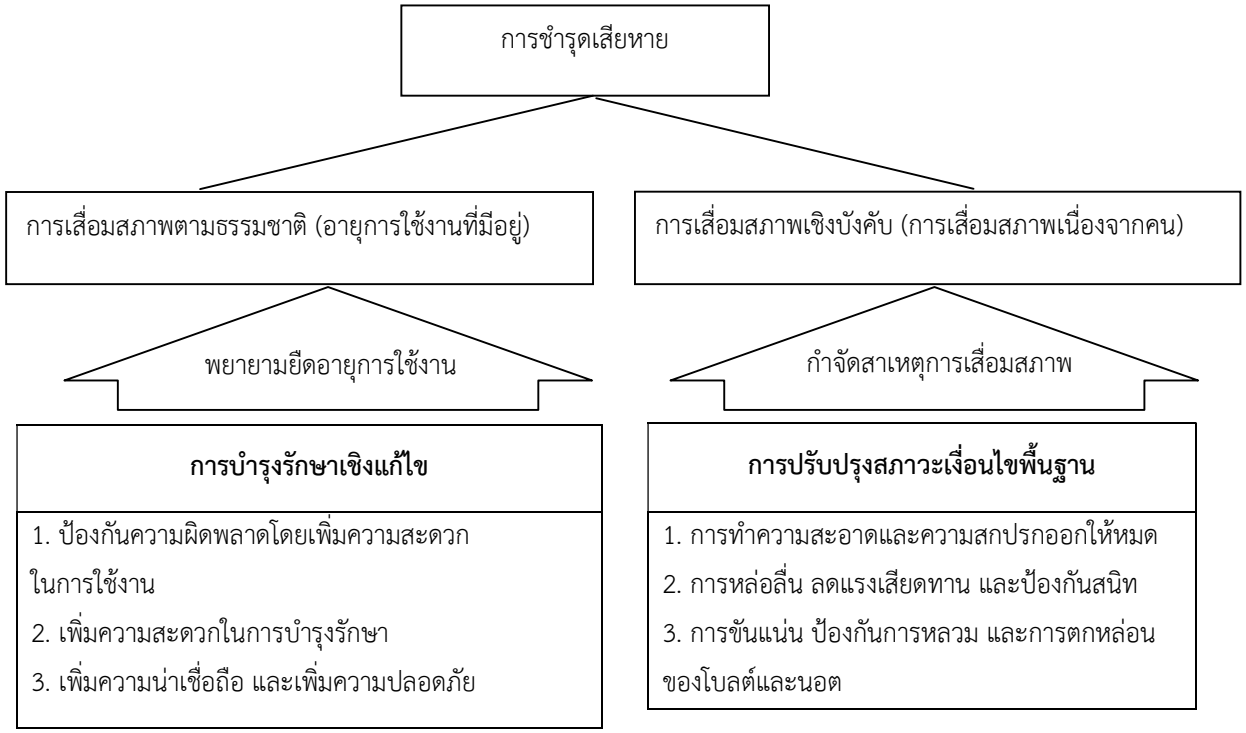
3. การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance : CM)

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงถูกัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ปัญหาจุดอ่อนบางประการในระบบการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง (BM) และการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) จุดอ่อนดังกล่าว คือ การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้องมีข้อเสียตรงที่เครื่องมือจะเสียหายในขณะกำลังใช้งาน และหากไม่มีเครื่องสำรองก็จะเกิดความเสียหายต่อแผนตรวจวัดหรือเก็บตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์ได้ จากนั้นจึงได้มีการพัฒนามาเป็นการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แต่การบำรุงรักษาเชิงป้องกันก็ยังมีปัญหาอีก เนื่องจากบางครั้งตัวเครื่องมือเองอาจจะไม่ช่วยอำนวยความสะดวกในการบำรุงรักษา ไม่ว่าจะเป็นการทำความสะอาด การตรวจเช็ค การปรับแต่ง หรือแม้แต่การใช้งาน การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงจึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อทำให้เครื่องมือดูแลรักษาได้ง่ายใช้งานได้ง่าย และซ่อมแซมได้ง่ายขึ้น โดยการกำจัดจุดยากลำบาก กำจัดแหล่งกำเนิดปัญหาต่างๆ และป้องกันความผิดพลาด

การบำรุงรักษาเครื่องมือการบำรุงรักษาเครื่องมือชนิดเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ สามารถทำได้โดยวิธี การบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาและเชิงแก้ไขปรับปรุง การเลือกใช้วิธีการนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ ความถี่ในการใช้งานของเครื่องมือ และระยะเวลาการใช้งานของเครื่องมือ และเครื่องมือบางอย่างมีความจำเป็นต้องใช้วิธการบำรุงรักษาร่วมกันจึงจะมีประสิทธิภาพสูงสุด

ความสำคัญของการบำรุงรักษาเครื่องมือ

การเสื่อมสภาพของเครื่องมืออุปกรณ์เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะ คือ การเสื่อมสภาพตามธรรมชาติที่เสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานที่มีอยู่ของเครื่องมือนั้น และการเสื่อมสภาพเชิงบังคับที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อมหรือเกิดจากวิธีการที่ไม่ถูกต้องของผู้ใช้เครื่องมือ การกำจัดการเสื่อมสภาพทั้งสองลักษณะนี้จะป้องกันได้อย่างไรนั้นเป็นประเด็นสำคัญที่จะลดการชำรุดเสียหายของเครื่องมืออุปกรณ์ (ภาพที่ 12.1)



ภาพที่ 12.1 กำจัดสาเหตุการเสื่อมสภาพเชิงบังคับโดยการปรับปรุงสภาวะเงื่อนไขพื้นฐาน
ที่มา: ธานี อ่อมอ้อ, (2546)

การบำรุงรักษาที่ดีจะสามารถช่วยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อการทำงานและสามารถลดความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นสรุปได้ 4 ประการดังนี้

1. เพื่อให้สามารถใช้เครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิผล (Effectiveness)

โดยให้เครื่องมืออุปกรณ์เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้ มีการใช้งานเครื่องมือได้เต็มกำลังความสามารถและตรงกับความต้องการสำหรับงานด้านความปลอดภัยมากที่สุด

2. เครื่องมือมีสมรรถนะการทำงานสูง (Performance)

การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยให้เครื่องมืออุปกรณ์มีอายุการใช้งานยาวนาน เมื่อใช้งานไประยะเวลาหนึ่งจะเกิดการสึกหรอ หากไม่มีการปรับแต่งหรือทำการบำรุงแล้วเครื่องมืออาจเกิดการขัดข้องชนิดเรื้อรัง และเฉียบพลันเกิดการชำรุดเสียหาย สมรรถภาพลดลงหรือทำงานผิดพลาด จึงมีจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมไม่ให้เกิดการความเสียหาย และยังช่วยยืดอายุการใช้งานได้ยาวนาน

3. เครื่องมือมีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ (Reliability)

การเก็บตัวอย่างหรือการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์นั้นความละเอียด ความเที่ยงตรงและการยอมรับในมาตรฐานของเครื่องมือเป็นเรื่องสำคัญ เครื่องมืออุปกรณ์นอกจากจะต้องมีสมรรถนะที่ดีแล้วจะต้องมีความน่าเชื่อถือ ตามมาตรฐานไม่มีความคลาดเคลื่อนใดๆ เกิดขึ้น ซึ่งจะควบคุมให้เกิดความน่าเชื่อถือได้ต้องมีระบบหรือโปรแกรมการบำรุงรักษาเข้ามาควบคุม

4. มีความปลอดภัย (Safety)

เป็นปัจจัยหรือจุดมุ่งหมายที่สำคัญในการดำเนินการผลิตโดยอาศัยเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ นั้น นอกจากประสิทธิภาพ สมรรถนะและความน่าเชื่อถือในการใช้แล้ว เครื่องมืออุปกรณ์จะต้องมีความปลอดภัยเพียงพอต่อผู้ใช้งาน ถ้าเดินผิดพลาดชำรุดเสียหาย ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ อาจจะก่อให้เกิดอุบัติเหตุและการบาดเจ็บต่อผู้ใช้งานได้ การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยให้ค้นพบความผิดปกติในระหว่างการบำรุงรักษาซึ่งจะควบคุมไม่ให้เกิดความผิดพลาดขณะใช้งาน

การบำรุงรักษาเครื่องมือชนิดเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ ประกอบด้วย การตรวจเช็คความสมบูรณ์ของตัวเครื่อง การตรวจเช็คแบตเตอรี่ การตรวจเช็คถอดเปลี่ยนอะไหล่ การตรวจเช็คและกำหนดการสอบเทียบใหม่ ตรวจเช็คสายไฟว่าชำรุดเสียหาย ตรวจเช็คหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดรังสีต่างของเครื่อง ตรวจเช็คการทำงานของระบบระบายความร้อนของเครื่อง การทำความสะอาด และการบำรุงรักษาด้วยตนเอง

การบำรุงรักษาเครื่องมือ

เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่างด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อม ได้แก่ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ เครื่องตรวจวัดก๊าซ เครื่องตรวจวัดอนุภาคขนาดเล็ก เครื่องตรวจวัดเสียง เครื่องตรวจวัดแสง เครื่องตรวจวัดความร้อน เป็นต้น เครื่องมือเหล่านี้ ถูกออกแบบมาให้ใช้งานเพื่อความสะดวกและเหมาะสม โดยเฉพาะกับการบำรุงรักษาการปรับแต่งเครื่องมือต่างๆ เมื่อใช้งานไปนานๆ ก็จะเกิดการชำรุด เสียหายขึ้นได้ ถึงแม้ปัจจุบันจะมีการเลือกวัสดุที่แข็งแรงเป็นพิเศษมาใช้ทำเครื่องมือดังกล่าวก็ตามแต่โอกาสที่จะชำรุดเสียหายก็มีมาก การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือและสามารถรักษาความเที่ยงตรงแม่นยำของเครื่องมือเป็นอย่างดี และทำให้ผู้ปฏิบัติงานปลอดภัยจากการใช้เครื่องมือดังกล่าว จะแยกอธิบายตามหัวข้อต่อไปนี้

1. เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (Direct Reading Instrument)

เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง เป็นเครื่องมือที่รวมเอาการเก็บตัวอย่างอากาศ วิเคราะห์แปลผลได้ในเครื่องมือเดียวกัน และประมวลผลการตรวจและแสดงให้เห็นได้ทันทีที่ทำการตรวจวัด หลักการทำงานของเครื่องเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง มีหลักการทำงานพื้นฐาน คือ การนำอากาศตัวอย่างส่งเข้าไปยังส่วนรับรู้ (Sensor) โดยมีเครื่องดูดอากาศ (Active Sampling) หรือโดยการแพร่กระจายเข้าไปเอง (Passive Sampling) แล้วถูกวิเคราะห์ โดยเครื่องมือ (Meter) ชนิดต่างๆ เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงที่มีความสำคัญในงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรม คือ หลอดตรวจวัด เครื่องวัดก๊าซไวไฟชนิดต่างๆ วัดออกซิเจน และก๊าซพิษต่างๆ เครื่องวัดที่ใช้หลักการ Photoionization และ Flameionization ลักษณะเครื่องมืออ่านค่าโดยตรงจะเป็นลักษณะแบบพกพา (Port Table) แหล่งให้พลังงานที่สำคัญคือแบตเตอรี่ การบำรุงรักษาอ่านค่าโดยตรงมีดังนี้

1.1 การตรวจเช็คความสมบูรณ์ของตัวเครื่อง รวมถึงการตรวจสภาพ (Inspection) การทำงานว่าปกติหรือไมเพียงใด โดยศึกษาจากคู่มือผู้ผลิตและต้องตรงรุ่น เพราะเครื่องมือแต่ละรุ่นถึงแม้จะมีรูปร่างลักษณะเหมือนกันผลิตมาจากบริษัทเดียวกัน แต่การบำรุงรักษาอุปกรณ์บางอย่างอาจจะมีความแตกต่างกันในบางรายละเอียด

1.2 การตรวจเช็คแบตเตอรี่ เครื่องแบบพกพา (Port Table) จะนิยมใช้แบตเตอรี่ 5 ชนิด ผู้ใช้หรือผู้ที่มีหน้าที่บำรุงรักษาเครื่องมือ จึงมีความจำเป็นที่ต้องรู้จักแบตเตอรี่แต่ละชนิด และรู้ว่าเครื่องมือที่ใช้อยู่ผู้ผลิตแนะนำให้ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดใดได้บ้าง นอกจากนั้นการทำตารางการตรวจเช็คแบตเตอรี่ก็จะทำให้ทราบถึงระยะเวลาการถอดเปลี่ยน หรือการรีชาร์จพลังงานเข้าไปใหม่ในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะช่วยป้องกันความเสียหายของเครื่องมือ ความเสียหายของแบตเตอรี่ และความปลอดภัยของผู้ใช้

1.3 การตรวจเช็คถอดเปลี่ยนอะไหล่ เครื่องมืออ่านค่าโดยตรงประเภทที่ตรวจวัดก๊าซบางชนิด เช่น ออกซิเจน (O_2) ตัวเซนเซอร์จะมีอายุการใช้งานประมาณ 2 ปี เมื่อครบเวลาก็ไม่สามารถตรวจวัดหรือวิเคราะห์ก๊าซได้อีก ผู้ใช้หรือผู้ที่มีหน้าที่บำรุงรักษาเครื่องมือจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในการกำหนดวันถอดเปลี่ยนเองหรือส่งให้บริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายดำเนินการ (ถอดเปลี่ยนแล้วต้องสอบเทียบความเที่ยงตรง) เพื่อป้องกันเครื่องขัดข้องในขณะที่กำลังใช้งานหรือตรวจวัด

1.4 การตรวจเช็คและกำหนดการสอบเทียบใหม่ การสอบเทียบเครื่องมือวัดจะต้องทำเมื่อผลการวัดของเครื่องมือวัดนั้นกระทบต่อคุณภาพ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการสำรวจอ่านค่าผิดไปจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เครื่องมือวัดที่ใช้ส่งผลกระทบเรื่องของความปลอดภัย ด้วยการใช้ตัวมาตรฐานการวัดที่สามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติเพื่อสอบเทียบเครื่องมือวัด บริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายแนะนำให้มีการสอบเทียบใหม่อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

2. เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ

การวิเคราะห์สารเคมีที่มักพบบ่อยในงานอุตสาหกรรมและมีแนวโน้มการสัมผัสที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพผู้ปฏิบัติงาน ประกอบด้วยสารกลุ่มโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แมงกานีส ฯลฯ และสารตัวทำละลายอินทรีย์ต่างๆ เช่น เบนซีนโทลูอีนสไตรีน ฯลฯ การตรวจวัดด้วยเครื่องมืออ่านค่าได้โดยตรงจึงไม่สามารถประเมินทางด้านชีวภาพได้ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดและมีความแม่นยำสูงจึงมีความสำคัญสำหรับการประเมินทางชีวภาพ เครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการสามารถควบคุมตัวแปรเพื่อป้องกันความผิดพลาด แล้วประเมินด้วยเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ เครื่องแก๊สโครมาโทรกราฟี เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบทางสเปกโตรสโคป เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค เป็นต้น เครื่องมือเหล่านี้ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นต้นกำลังในการวิเคราะห์ วิธีการบำรุงรักษานั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ สำหรับหลักการบำรุงรักษาโดยทั่วไปจะคล้ายคลึงกัน ดังนี้

2.1 ตรวจเช็คสภาพทั่วไปของเครื่องมือที่ใช้ว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยหรือไม่ เช่น ตรวจดูกลไกควบคุมสวิตช์ทำงานถูกต้องหรือไม่ ปิด–เปิด ได้ปกติหรือไม่

2.2 ตรวจเช็คหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดรังสีต่างของเครื่อง โดยปกติจะมีระยะเวลาการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมโดยบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่าย เพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนจากความเสียหายของอุปกรณ์เหล่านี้ หรือการบำรุงรักษาโดยผู้ใช้เครื่องมือที่ได้รับการฝึกอบรมจากบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่าย และจัดซื้ออะไรสำรองไว้ประจำเครื่อง

2.3 ตรวจเช็คสายไฟว่าชำรุดเสียหาย รั่วที่รอยปอกหรือขาด ปลั๊กเสียบตัวผู้หลุดหลวมหรือไม่ สายดินต่อถูกต้องหรือไม่ทดลองปิด–เปิด

2.4 ตรวจเช็คการติดตั้ง ต้องไม่ให้ผู้ปฏิบัติงานนำเครื่องมือไปใช้ใกล้วัสดุไวไฟและความร้อน

2.5 ตรวจเช็คการทำงานของระบบระบายความร้อนของเครื่อง เมื่อใช้เครื่องมือผ่านไประยะหนึ่ง จะเกิดความร้อนสะสมในตัวเครื่อง หากระบบการระบายความร้อนทำงานผิดปกติหรือไม่ทำงาน จะส่งผลกระทบต่อตัวเครื่องมือ และจะเกิดความคลาดเคลื่อนของผลที่ได้จากการวิเคราะห์

2.6 การทำความสะอาด ระบบการบำรุงรักษาด้วยตนเองนั้น เมื่อใช้เครื่องมือเสร็จผู้ใช้จะต้องทำความสะอาดเก็บเครื่องมือลงหีบเก็บโดยเฉพาะหรือเก็บเข้าตู้เครื่องมือทันที แต่เพียงเท่านั้นยังไม่เพียงพอสำหรับระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) การทำความสะอาดต้องทำมากกว่าการทำความสะอาดเพียงภายนอก แต่รวมถึงการทำความสะอาดข้างในที่จำเป็นต้องถอดอุปกรณ์จำพวกฝาครอบเครื่องออก รวมไปจนถึงการหล่อลื่นภายใน การตรวจสภาพของโบลต์นัต

2.7 การตรวจเช็คและกำหนดการสอบเทียบใหม่ การสอบเทียบเครื่องมือวัดจะต้องทำลักษณะเดียวกันกับเครื่องมือชนิดอ่านค่าโดยตรง ซึ่งบริษัทผู้ผลิตหรือตัวแทนจำหน่ายแนะนำให้มีการสอบเทียบใหม่อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

การบำรุงรักษาที่ดีจะช่วยในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือและสามารถรักษาความเที่ยงตรงแม่นยำของเครื่องมือเป็นอย่างดี การบำรุงรักษาเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ สามารถดำเนินการได้ดังนี้ คือ การตรวจเช็คแบตเตอรี่ การตรวจเช็คถอดเปลี่ยนอะไหล่ ตรวจเช็คสภาพทั่วไปของเครื่องมือที่ใช้ว่าอยู่ในสภาพเรียบร้อยหรือไม่ ตรวจเช็คหลอดไฟหรือแหล่งกำเนิดรังสีต่างของเครื่อง ตรวจเช็คสายไฟว่าชำรุดเสียหาย ตรวจเช็คการติดตั้ง ตรวจเช็คการทำงานของระบบระบายความร้อนของเครื่อง การทำความสะอาด การตรวจเช็คและกำหนดการสอบเทียบใหม่

วิธีการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าให้ปลอดภัย

เครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศในการตรวจวัดฝุ่นละอองระบบกราวิเมตริกชนิดไฮโวลุม (High Volume Air Sampler) ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวฉุดหรือเป็นต้นกำลังให้อากาศไหลผ่านตัวมอร์เตอร์ไปสู่กระดาษกรอง มอเตอร์เหล่านี้เมื่อใช้ไปนานๆ จะเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหายในที่สุด สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ชำรุดเสียหายส่วนมากเนื่องจากสภาพของความชื้น การเปียกแฉะทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงอยู่เป็นประจำ เช่น มีน้ำจากภายนอกไหลเข้าสู่มอเตอร์ การทำความสะอาดพื้นด้วยน้ำทำให้น้ำกระเด็นไปสู่มอเตอร์และถูกทิ้งไว้ในบรรยากาศที่มีความชื้นอยู่สูง ทำให้ความต้านทานของฉนวนหุ้มภายในลดลง เป็นต้นวิธีการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้ามีดังนี้

1. การทำความสะอาด

การทำความสะอาดมอเตอร์ต้องทำอย่างถูกวิธี เช่น ทำความสะอาดตัวมอเตอร์ก่อนโดยไม่เปิดฝาครอบแล้วใช้เครื่องดูดฝุ่นดูดฝุ่นขนาดโตต่อไปจึงใช้แรงลมเป่า ซึ่งมีความดันลมไม่เกิน ปอนด์ต่อตารางน้ำ 40 เป่าพ่นอีกทีหนึ่งฝาครอบและตัวโครงมอเตอร์นั้นอาจทำความสะอาดด้วยการใช้สารละลายบางอย่างล้างความสกปรกนั้นๆ ก่อนได้ และขณะทำการล้างคราบสกปรกต้องทำในที่โล่งแจ้งหรือให้มีการระบายอากาศที่ดีอย่างเพียงพอ

2. ใช้อะไหล่สำรอง

ถ้ามอเตอร์ที่เป็นอะไหล่สำรองหรือไม่มีการใช้เป็นเวลานาน ก่อนใช้งานต้องตรวจสอบสภาพตัวมอเตอร์ เช่น ใช้โอห์มมิเตอร์ วัดค่าความต้านทานภายในมอเตอร์นั้นๆ ก่อน

3. มอเตอร์มีความชื้น

ถ้ามอเตอร์มีความชื้น ต้องอบมอเตอร์ให้แห้งโดยใช้วิธีต่างๆ เช่น ใช้อบด้วยหลอดอินฟาเรดและพยายามตั้งในที่มีการระบายอากาศที่ดี ควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกิน 80 องศาเซลเซียสหรืออาจอบด้วยขดลวดทำความร้อนโดยมีพัดลมเป็นตัวเป่าลมร้อน

4. การใช้งานมอเตอร์

เมื่อจะใช้งานมอเตอร์ตรวจดูว่าตัวมอเตอร์หรือแท่นนั้นมีสายดินต่อไว้หรือไม่ ถ้าไม่มีต้องจัดการต่อให้เรียบร้อยป้องกันไฟฟ้ารั่วจะไม่เกิดอันตรายแก่ผู้ใช้และต้องตรวจดูน็อต สกรู สลักที่ยึดฐานแท่นให้เรียบร้อยถ้ามีการต่อใช้มอเตอร์ใหม่ต้องตรวจสอบดูทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้ถูกต้อง โดยตรวจสอบกับคู่มือประจำเครื่องแล้วฟังเสียง สังเกตความบกพร่องต่างๆ จนแน่ใจแล้วจึงเดินเครื่อง

5. การเปลี่ยนแปรงถ่าน (Carbon Brush)

ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ หรือเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าบน Commutator หรือ Slip Ring จากแหล่งจ่ายและจ่ายผ่านไปยัง Commutator หรือ Slip Ring เพื่อใช้ในการต่อให้ครบวงจร เมื่อใช้ไปนานๆ จะเกิดการสึกหรอเมื่อมันสึกหรอมากๆ ก็ไม่สามารถส่งกระแสไฟได้มอเตอร์ก็ไม่หมุน หรือหมุนช้ามีกลิ่นไหม้และเกิดประกายไฟ ในระยะเวลา 3 เดือน หรือ 1500 ชม. ต้องมีการทำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เพื่อตรวจเช็คความสมบูรณ์ของแปรงถ่านและกำหนดเวลาการเปลี่ยนที่เหมะสม เพื่อประสิทธิภาพของมอเตอร์และความปลอดภัยจากเครื่องมือ

6. การตรวจสอบแบริ่ง (Bearing Inspection)

สาเหตุส่วนใหญ่ของการพังเสียหายของมอเตอร์ หรือจะต้องหยุดการทำงานของมอเตอร์ชั่วคราวเพื่อทำการตรวจสอบเมื่อได้ยินเสียงผิดปกติขณะหมุนมักมาจากการขัดข้องของแบริ่ง การตรวจสอบแบริ่งของมอเตอร์แต่ละตัวมักจะไม่ตรงกันเพราะการใช้งานหนักเบาแตกต่างกัน หากมอเตอร์ใช้งานประจำควรมีการตรวจตามคาบเวลาเดือนละ 1 ครั้ง การตรวจสอบแบริ่งควรรวมถึงการตรวจสอบอุณหภูมิที่ผิวด้วยเครื่อง

อินฟราเรดสแกนเนอร์ เทอร์โมมิเตอร์ หรือแผ่นชี้แสดงอุณหภูมิ เครื่องมือที่นิยมใช้ในการตรวจสอบความร้อนและเสียงดังของแบริ่งคือเทอร์โมสแกนและเครื่องคลื่นเสียงอัลตราโซนิก

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ต้นกำลัง ในอุปกรณ์เก็บตัวอย่างหรือตรวจวัดด้านอาชีวอนามัย เมื่อใช้ไประยะเวลาหนึ่ง จะเกิดการเสื่อมสภาพและชำรุดเสียหาย สาเหตุที่ทำให้มอเตอร์ชำรุดเสียหายส่วนมากเนื่องจากสภาพของความชื้น การเปียกแฉะทำให้ต้องมีการซ่อมบำรุงอยู่เป็นประจำ และการสึกหรอของแปรงถ่าน วิธีการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้า ประกอบด้วย การทำความสะอาด การใช้อะไหล่สำรอง การเปลี่ยนแปรงถ่าน การตรวจสอบแบริ่ง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ตลอดระยะเวลาเก็บตัวอย่างหรือตรวจวัด

แบตเตอรี่สำหรับเครื่องมือ

ปัจจุบันนี้เครื่องมือถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลงแต่คุณภาพไม่ได้เล็กตามขนาด กลับมีคุณภาพที่สูงขึ้นกว่าเดิม แบตเตอรี่ที่เป็นแหล่งพลังงานก็เช่นเดียวกัน จากที่เคยมีขนาดใหญ่และเก็บพลังงานได้น้อยถูกพัฒนาให้มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบาลงแต่สามารถเก็บพลังงานได้มากขึ้น เพื่อตอบโจทย์ความต้องการใช้พลังงานที่ยาวนานขึ้น แบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องมือเก็บตัวอย่างด้านความปลอดภัยหรือเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดอ่านค่าโดยตรง การบำรุงรักษาเครื่องมือจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความรู้เรื่องแบตเตอรี่ ซึ่งจะเป็นการป้องกันความเสียหายของเครื่องมือจากปฏิกิริยาของสารเคมีที่เสื่อมสภาพในแบตเตอรี่ ช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องมือได้ยาวนานตามความต้องการ

1. ประเภทของแบตเตอรี่สำหรับเครื่องมือในงานด้านความปลอดภัย

การเก็บตัวอย่างหรือการตรวจวัดด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้สำหรับงานด้านความปลอดภัยมีความจำเป็นในการใช้พลังงานที่ต่อเนื่องและยาวนานพอที่จะได้ค่าตามพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ประมวลผล แบตเตอรี่ที่ใช้สำหรับเครื่องมือจึงต้องสัมพันธ์กับการใช้เครื่องมือด้วยเช่นกัน แบตเตอรี่ที่เหมาะแก่การใช้งานมีด้วยกัน 6 ชนิดได้แก่ ชนิดอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable Alkaline Cells) แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคด (Nickel-Cadmium Cells, Ni-Cads) นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride, Ni-Mh) แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน (Lithium Ion, Li-Ion) แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลีเมอร์ (Lithium Polymer Batteries, Li-Po) และแบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Batteries LiFePO4) แบตเตอรี่แต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกันมีการพัฒนาและผลิตออกมาหลายรูปแบบรายละเอียดมีดังนี้

1.1 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable Alkaline Cells) แบตเตอรี่ประเภทนี้เริ่มมีใช้ครั้งแรกในปี พ.ศ.2501 ขนาดแรงดัน 1.5 โวลต์ และ 9 โวลต์ มีหลายขนาดให้เลือกใช้ จึงเป็นที่นิยมกันมากเพราะสามารถให้พลังงานได้มากใช้ได้ยาวนาน แต่มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบจึงเป็นปัญหาด้าน

สิ่งแวดล้อมทำให้เกิดปัญหาขยะมีพิษเพิ่มมากถ้าหากผู้ใช้ไม่ตระหนักถึงการกำจัดโดยการแยกประเภทของขยะเป็นขยะอันตราย (ภาพที่ 12.2)

ภาพที่ 12.2 แบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้งแรงดัน 1.5 โวลต์, 9 โวลต์
ที่มา: Teershop, (2017)

1.2 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคด (Nickel-Cadmium Cells, Ni-Cads) เป็นชนิดที่สามารถรีชาร์จได้ และสามารถจะรีชาร์จใหม่ได้นับร้อยครั้งแต่มีปัญหาการเกิดเมโมรี่เอฟเฟ็กต์ (Memory Effect คือ การที่แบตเตอรี่ถูกใช้ไฟไม่หมดแล้วนำไปชาร์จไฟใหม่อยู่บ่อยๆ ทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจำค่าสูงสุดที่มันเคยเก็บไว้ได้เป็นสาเหตุให้แบตเตอรี่ค่อยๆ เสื่อมลงอย่างรวดเร็ว) (ภาพที่ 12.3)

ภาพที่ 12.3 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคด (Nickel-Cadmium Cells, Ni-Cads)
ที่มา: Batterymart, (2017)

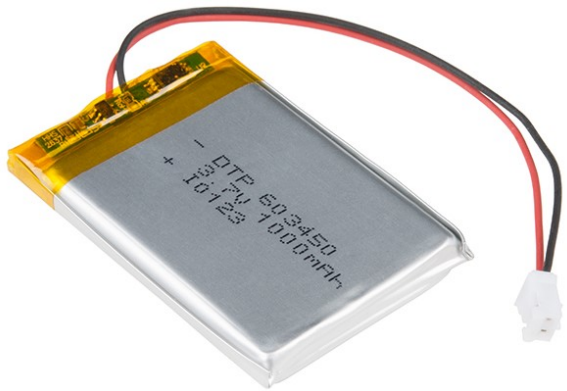
1.3 แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride, Ni-Mh) จากแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิลแคดเมียมหรือนิแคดนำสู่การพัฒนาเป็นนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า และสามารถชาร์จใหม่ได้หลายร้อยครั้งเช่นกัน แต่การชาร์จถ่าน Ni-MH จะไม่เกิดเมโมรี่เอฟเฟ็กต์เหมือนถ่านนิแคด ตัวถ่าน Ni-MH สามารถรีชาร์จด้วยตัวเอง ประมาณ 1-4% ของพลังงานที่เหลืออยู่ทุกวัน (ภาพที่ 12.4)

ภาพที่ 12.4 นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride, Ni-Mh)
ที่มา: Ebay, (2017)

1.4 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน (Lithium Ion, Li-Ion) มีความหนาแน่นพลังงานของเซลลิเธียมไอออนมีค่าสูงกว่าเซลชนิดนิเกิลแคดเมียม 2 เท่า เนื่องด้วยมีแรงดันที่มากกว่าและข้อดีตรงแรงดันที่สูงนี้เองปัจจุบันนี้เซลในแพคแบตเตอรี่จึงใช้เพียงแค่เซลเดียวก็สามารถให้พลังงานได้อย่างเพียงพอนอกจากนี้ยังไม่มีปัญหาเรื่องความจำของแบตเตอรี่หรือเมโมรี่เอฟเฟ็กต์ จึงไม่ต้องล้างแบตเตอรี่หรือการใช้แบตเตอรี่ให้หมดประมาณเดือนละครั้งอย่างที่ต้องทำในแบตเตอรี่ชนิดนิเกิลแคดเมียม (ภาพที่ 12.5)

ภาพที่ 12.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน (Lithium Ion, Li-Ion)
ที่มา: Amazon, (2017)

1.5 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลีเมอร์ (Lithium Polymer Batteries, Li-PO) ต่างจากลิเธียมไอออนธรรมดาตรงที่ชนิดของสารอิเล็กโตรไลท์ ลิเธียมโพลีเมอร์ใช้ฟิล์มคล้ายพลาสติกร่วมกับอิเล็กโตรไลท์ชนิดเจล แทนที่จะใช้แผ่นเมมเบรนที่มีรูพรุนเป็นตัวส่งผ่านไอออน ลิเธียมโพลีเมอร์ง่ายต่อการผลิต มีความแข็งแรง ปลอดภัย และบางสามารถทำให้บางได้ถึง 1 มิลลิเมตร สามารถผลิตให้เป็นรูปทรงต่างๆได้ตามความต้องการของการใช้งานหรือตามขนาดของเครื่องมือที่ต้องการ (ภาพที่ 12.6)



ภาพที่ 12.6 แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลีเมอร์ (Lithium Polymer Batteries)
ที่มา: Sunnergytech, (2017)

1.6 แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Batteries $LiFePO_4$) Octopus Electrical Service. (2020) ได้สรุปไว้ว่า แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต ($LiFePO_4$ หรือ LFP) ใช้ขบวนการทางเคมีที่ได้รับจากลิเธียมไอออน เป็นแบตเตอรี่ลิเธียมไอออนที่เป็นที่นิยมและปลอดภัยที่สุด แรงดันไฟฟ้าเพียงเล็กน้อยของเซลล์ LFP มีขนาด 3.2 โวลต์ (กรดตะกั่ว: 2 โวลต์/เซลล์) แบตเตอรี่ LFP ขนาด 12.8 โวลต์ จึงประกอบด้วยเซลล์สี่เซลล์เชื่อมต่อกันเป็นอนุกรม และแบตเตอรี่ขนาด 25.6 โวลต์ ประกอบด้วยเซลล์แปดเซลล์ต่อกันเป็นอนุกรม ประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีความสำคัญอย่างยิ่ง ประสิทธิภาพการใช้พลังงานแบตเตอรี่หนึ่งรอบ (คายประจุจาก 100% เป็น 0% และกลับสู่ค่าประจุ 100%) ของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดเฉลี่ยคือ 80% ขณะที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานหนึ่งรอบของแบตเตอรี่ LFP คือ 92% อีกทั้งกระบวนการชาร์จของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะไม่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเหลือแบตเตอรี่อยู่ที่ 80% จะทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 50% หรือน้อยกว่านั้นสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งต้องใช้พลังงานสำรองสำหรับหลายวัน (แบตเตอรี่ทำงานที่สถานะ 70% ถึง 100%) ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่ LFP จะยังคงประสิทธิภาพ 90% หากมีการปล่อยประจุทีละน้อย การใช้งาน 2,000-2,500 รอบ - ประสิทธิภาพแบตเตอรี่จะลดลงเหลือ 80% จากเดิม (ใช้ได้สูงสุด 14 ปี คิดจากการใช้งานหนึ่งรอบทุกๆ สองวัน) อาร์ เค บี แบตเตอรี่ (2560) ได้สรุปเกี่ยวกับวงจรป้องกันการชาร์จไว้ว่าการต่อแบตเตอรี่หลายก้อน แบตเตอรี่แบบแพ็คซึ่งจะมีฟังก์ชั่นการทำงาน

ที่มากกว่าวงจรป้องกัน PCB Protected อย่างวงจรป้องกัน PCB Protected จะทำหน้าที่สำคัญๆ 3 อย่าง ได้แก่ คอยป้องกันการใช้งานที่กระแสเกิน (Over Current Protection) ป้องกันแรงดันการชาร์จไฟเกิน (Over Charge Voltage Protection) และป้องกันการใช้ไฟในระดับโวลต์ที่ต่ำกว่ากำหนด (Under Discharge Voltage Protection)

ภาพที่ 12.7 แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Batteries LiFePO4)
ที่มา: Oye Store, (2021)

2. การชาร์จแบตเตอรี่

เครื่องมือการรู้วิธีการชาร์จแบตเตอรี่แต่ละชนิด การใช้ชาร์จเจอร์ที่ได้มาตรฐาน การเลือกซื้อแบตเตอรี่มีคุณภาพ การเก็บรักษาที่ถูกวิธีและเหมาะสม นับว่าเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ การชาร์จแบตเตอรี่แต่ละชนิดมีรายละเอียดดังนี้

2.1 แบตเตอรี่ Ni-CAD และ Ni-MH ใน 3-5 ครั้งแรกควรชาร์จไฟทิ้งไว้ประมาณ 8-16 ชม. ก่อนการใช้งานและในแต่ละครั้งที่ใช้งานควรที่จะใช้จนกระทั่งแบตเตอรี่หมดหรือเหลือน้อยที่สุด

2.2 แบตเตอรี่แบบ Li-Ion การชาร์จครั้งแรกๆ ไม่จำเป็นต้องชาร์จ 8-16 ชม. อีกต่อไปชาร์จเพียงแค่เต็ม แล้วทิ้งไว้อีกซัก 1-2 ชม. ก็เพียงพอแต่แบตเตอรี่อาจจะใช้งานได้เต็มประสิทธิภาพหลังจากการชาร์จผ่านไปแล้ว 3-5 ครั้งโดยในการชาร์จแต่ละครั้งไม่จำเป็นต้องรอให้แบตเตอรี่หมด หรือแบตเตอรี่อ่อนสามารถชาร์จได้บ่อยเท่าที่ต้องการ เพียงแต่แบตเตอรี่แบบนี้ไม่ควรปล่อยให้ไฟหมด และห้ามดิสชาร์จ

2.3 แบตเตอรี่แบบ Li-PO การชาร์จเหมือนแบบ Li-Ion คือชาร์จ 3 ครั้งแรกแค่เต็มและสามารถปล่อยให้แบตเตอรี่หมดได้โดยไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการใช้งาน สำหรับแบตเตอรี่แบบ Li-Ion, Li-Polymer ถ้าชาร์ตไฟที่ 40% แล้วเก็บเอาไว้โดยไม่ใช้งานเป็นระยะเวลา 1 ปีขึ้นไป ตัวแบตจะเสื่อมน้อยกว่า

การชาร์ตไฟที่ 100% แล้วเก็บไว้นาน 1 ปีขึ้นไป แต่สำหรับแบตเตอรี่ที่ไม่ได้เก็บไว้นานเกิน 1 ปี หรือแบตเตอรี่ที่ใช้งานตามปกติ (ไม่ได้เก็บเข้ากรุ) อัตราการเสื่อมของแบตเตอรี่ไม่ว่าจะมีไฟที่ 40% หรือ 100% นั้นแทบจะไม่ต่างกัน (ตาราง 12.1)

2.4 แบตเตอรี่ลิเธียมฟอสเฟต (Batteries $LiFePO_4$) กระบวนการชาร์จของแบตเตอรี่ตะกั่วกรดจะไม่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเหลือแบตเตอรี่อยู่ที่ 80% จะทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ประสิทธิภาพแบตเตอรี่ 50% หรือน้อยกว่านั้นสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งต้องใช้พลังงานสำรองสำหรับหลายวัน (แบตเตอรี่ทำงานที่สถานะ 70% ถึง 100%) ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่ LFP จะยังคงประสิทธิภาพ 90% หากมีการปล่อยประจุทีละน้อย การใช้งาน 2,000-2,500 รอบ - ประสิทธิภาพแบตเตอรี่จะลดลงเหลือ 80% จากเดิม (ใช้ได้สูงสุด 14 ปี)

ตารางที่ 12.1 แสดงการสูญเสียความจุโดยตัวแปรอุณหภูมิและพลังงานที่เก็บอยู่ในเซลแบตเตอรี่

Temporature	40% charge level (recommended storage charge level)	100% charge level (lypical user charge level)
0˚C	98% after 1 year	94% after 1 year
25˚C	96% after 1 year	80% after 1 year
40˚C	86% after 1 year	66% after 1 year
60˚C	75% after 1 year	60% after 3 months

ที่มา: Techxcite, (1998)

3. การเก็บรักษาและข้อแนะนำ

ถ้าต้องเก็บแบตเตอรี่เป็นเวลานานการเก็บในที่เย็นจะชะลอการเสื่อมของแบตเตอรี่ทุกชนิดลงได้ ผู้ผลิตแบตเตอรี่แนะนำว่าอุณหภูมิการเก็บรักษาแบตเตอรี่ลิเธียมที่ดีอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียสและต้องมีไฟประจุอยู่ 40 % หรือ 3.75 - 3.8 โวลต์ มีแนวทางการเก็บรักษาและข้อแนะไว้ดังนี้

3.1 หลีกเลี่ยงการใช้แบตเตอรี่จนหมดก้อน เพราะจะทำให้เกิดคราบสะสมบนอิเล็กโตรดในก้อนเซลการใช้งานไปเพียงบางส่วนและชาร์จบ่อยๆ ดีกว่าการใช้ให้หมดและชาร์จครั้งเดียวการชาร์จขณะไฟยังไม่หมดไม่ก่อให้เกิดความเสียหายใดๆไม่มีปัญหาเรื่องความจำในแบตเตอรี่ส่วนเรื่องอายุการใช้งานของแบตเตอรี่หรือเครื่องมือที่ใช้ ซึ่งจริงๆ แล้วไม่ได้เกิดจากรูปแบบการใช้งานหากแต่เกิดปัญหาเพราะความร้อนจากตัวเครื่องส่งมาถึงแบตเตอรี่ (แบตเตอรี่เสื่อมสภาพจากความร้อน)

3.2 เก็บแบตเตอรี่ในที่เย็นหลีกเลี่ยงการไว้บริเวณกระจกที่แสงแดดสิ่งถึง ถ้าจำเป็นต้องเก็บไว้นานๆ ควรชาร์จไว้ 40 % ก่อนเก็บ

3.3 ไม่ควรซื้อแบตเตอรี่เก็บสำรองไว้ใช้นานข้ามปี ก่อนซื้อให้ดูวันที่ผลิตอย่าซื้อของลดราคาล้างสต็อก แม้ว่าจะราคาถูกก็ตามแบตเตอรี่ชนิดอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable Alkaline Cells) อายุประมาณ 5 ปีจากวันผลิต แบตเตอรี่ชนิดชาร์จได้ อายุประมาณ 2-3 ปีจากวันผลิต

3.4 ถ้ามีแบตเตอรี่ลิเธียมสำรอง ให้ใช้ก้อนหนึ่งให้เต็มที่เท่าที่จำเป็นต้องใช้และเก็บอีกก้อนห่อใส่ถุงเก็บไว้ในตู้เย็นแต่ห้ามแช่แข็ง และเพื่อผลที่ดีที่สุดให้ชาร์จไว้ 40 % หรือ 3.75-3.8 โวลต์ ก่อนเข้าตู้เย็น

แบตเตอรี่ที่ใช้ในเครื่องมือเก็บตัวอย่างด้านความปลอดภัยหรือเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างชนิดอ่านค่าโดยตรง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีความรู้เรื่องแบตเตอรี่ ที่เหมาะสมทั้งด้านประสิทธิภาพการใช้บางการเก็บตัวอย่างบางชนิดใช้เวลาหลายชั่วโมง แบตเตอรี่ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวอาจจะมีราคาที่สูงตามไปด้วย จึงต้องเลือกใช้ตามคามจำเป็นของเครื่องมือนั้น รวมถึงการบำรุงรักษาแบตเตอรี่ที่ถูกต้องจะเป็นการป้องกันความเสียหายของเครื่องมือจากปฏิกิริยาของสารเคมีที่เสื่อมสภาพในแบตเตอรี่ ช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องมือได้ยาวนานตามความต้องการ

การจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์

การเก็บเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย บางอย่างมีความละเอียดบอบบาง การเก็บรักษาต้องใส่ไว้ในตู้ที่มีกุญแจใช้สารดูดความชื้นเพื่อป้องกันความเสียหาต่อเครื่องมืออุปกรณ์บางอย่างอาจเก็บไว้นอกตู้ได้โดยจับยึดให้มั่นคง หรือบางชนิดอาจจะแขวนไว้ อุปกรณ์บางอย่างต้องเก็บในกล่องสำหรับเก็บที่มีกุญแจเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย มีหมายเลขลำดับที่ และชั้นวางในตู้ ตู้เก็บต้องมีกุญแจ การจัดเก็บจึงควรพิจารณาถึงความสำคัญตามความเหมาะสมเฉพาะของเครื่องมือ ดังนี้

1. จัดทำประวัติเครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์แต่ละชนิดจำเป็นต้องได้รับการจัดทำประวัติ และอย่างน้อยการบันทึกประวัติเครื่องมือต้องประกอบด้วยเครื่องมือต่อไปนี้

1.1 การบ่งชี้เฉพาะเครื่องมือและซอฟท์แวร์ของเครื่องมือ

1.2 ชื่อผู้ผลิต ชนิดของเครื่องมือ หมายเลขเครื่องหรือการบ่งชี้อื่นๆ

1.3 การบันทึกการตรวจสอบ เพื่อแสดงว่าเครื่องมือและอุปกรณ์เป็นไปตามข้อกำหนดคุณลักษณะเฉพาะ (Specification)

1.4 คำแนะนำของผู้ผลิต (ถ้ามี) หรืออ้างอิงถึงที่เก็บเอกสารดังกล่าว

1.5 วันเดือนปี ผลการสอบเทียบ สำเนารายงานผล และใบรับรองการสอบเทียบทั้งหมด การปรับแต่ง เกณฑ์การยอมรับ และกำหนดการสอบเทียบครั้งต่อไป

1.6 แผนการซ่อมบำรุงตามความเหมาะสม และประวัติการบำรุงรักษาที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ประวัติความเสียหาย ความบกพร่อง การดัดแปลงหรือซ่อมแซมใดๆ ที่กระทำต่อเครื่องมือ

1.7 การจัดทำบัญชีรายชื่อรายการวัสดุอุปกรณ์เพื่อความเป็นระเบียบและความสะดวก

1.7.1 บัญชีครุภัณฑ์ ได้แก่ อุปกรณ์ที่มีอายุใช้งานนาน คงทนถาวร เช่น เครื่องเก็บฝุ่นละออง เครื่องวัดเสียง เครื่องดัชนีความร้อนเครื่องฉายภาพความร้อน เครื่องวัดความสั่นสะเทือน และเครื่องชั่ง ฯลฯ

1.7.2 บัญชีครุภัณฑ์ที่ต้องมีการบำรุงรักษาตามคาบเวลาหรือมีกำหนดระยะเวลาเปลี่ยนเซ็นเซอร์ภายในเวลาที่กำหนด ได้แก่ เครื่องมือตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้ เครื่องวัดก๊าซในพื้นที่อับอากาศ เครื่องวัดก๊าซ VOCs เป็นต้น

1.7.3 บัญชีวัสดุ ได้แก่ อุปกรณ์ประเภทของใช้สิ้นเปลือง มีอายุการใช้งานไม่นาน เช่น เทอร์โมมิเตอร์ บีกเกอร์ หลอดทดลอง ขวดแก้ว ฯลฯ

1.7.4 บัญชีสารเคมี ได้แก่ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง เช่น กรด เบส ฯลฯ

2. สถานที่เก็บเครื่องมือและอุปกรณ์

สถานที่เก็บมีความสำคัญทั้งขนาดของห้อง ตู้ โต๊ะ พื้นที่ จึงควรเลือกให้เหมาะสมตามข้อกำหนดของเครื่องมือแต่ละชนิดหรือตามสภาพแวดล้อมทั่วๆ ไปดังนี้

2.1 สะอาดปราศจากฝุ่นละออง เครื่องมือวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีอุปกรณ์เซ็นเซอร์ การสัมผัสกับฝุ่นระอองจะทำให้เครื่องมือเกิดความคลาดเคลื่อนในการประมวลผล หรืออาจจะได้รับความเสียหาย และเสื่อมสภาพเร็วขึ้น

2.2 ระบบน้ำ ไฟฟ้า การถ่ายเทของเสีย และความเข้ากันได้ของสภาวะแวดล้อมของห้องกับเครื่องมือที่ติดตั้ง เช่น เป็นห้องที่ติดตั้งเครื่องปรับอากาศและเครื่องควบคุมความชื้นที่สามารถปรับระดับอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ให้เหมาะกับเครื่องมือแต่ละชนิด

2.3 พื้นอาคารหรืออุปกรณ์รองรับต้องแข็งแรงมั่นคง สามารถรองรับน้ำหนักของเครื่องมือได้ สำหรับเครื่องมือที่ติดตั้งถาวรไว้บนพื้นหรือโต๊ะ เครื่องมือควรติดตั้งในตำแหน่งที่สะดวกต่อการซ่อมบำรุงทั้งด้านหน้าและด้านหลัง

2.4 เก็บเครื่องมือให้ห่างจากแรงสั่นสะเทือน แหล่งกำเนิดความร้อน แหล่งกำเนิดแสงใกล้หน้าต่างที่แสงแดดส่องถึง หรือเครื่องมือที่ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนได้

2.5 เครื่องมือและชิ้นส่วนของอุปกรณ์ที่ไวหรือเสียง่ายต้องแยกเก็บและติดตั้งในห้องที่ปราศจากควันหรือไอกรดจากห้องปฏิบัติการ โดยใช้ห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ ควบคุมความชื้น และมีอุปกรณ์ป้องกันไอสารที่เกิดขณะใช้งาน ตามความเหมาะสมของเครื่องมือแต่ละชนิด

2.7 หน่วยงานจัดทำแผนบำรุงรักษาเครื่องมือ ควรมอบหมายบุคลากรทำการตรวจสอบ และดูแลรักษาเครื่องมือระหว่างการจัดเก็บ ตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หรือการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุงของเครื่องมือแต่ละชนิด ตามคำแนะนำของผู้ผลิต

2.8 ต้องติดป้าย แสดงรหัส หรือบ่งชี้อย่างอื่นใดที่เครื่องมือ เพื่อแสดงสถานะของการสอบเทียบ วันเดือนปี ที่ได้รับการสอบเทียบครั้งล่าสุด และวันเดือนปี ที่ครบกำหนดการสอบเทียบ

2.9 อุปกรณ์ที่เป็นชุดสอบเทียบ เช่น เครื่องสอบเทียบปั๊มเก็บตัวอย่างอากาศ เครื่องสอบเทียบเสียง เครื่องสอบเทียบก๊าซ เครื่องมือทดลองการสังเคราะห์ด้วยแสง ควรเก็บไว้เป็นชุดอยู่ในตู้หรือชั้นเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการหยิบใช้หรือเคลื่อนย้าย

การจัดเก็บจึงควรพิจารณาถึงความสำคัญตามความเหมาะสมเฉพาะของเครื่องมือ เครื่องมือและอุปกรณ์แต่ละชนิดจำเป็นต้องได้รับการจัดทำประวัติ และอย่างน้อยการบันทึกประวัติเครื่องมือ สถานที่เก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ ควรเลือกให้เหมาะสมตามข้อกำหนดของเครื่องมือแต่ละชนิดหรือตามสภาพแวดล้อมทั่วๆ

กรณีศึกษา

ดุสิต สิงห์พรหมมาศ (2559) ได้ศึกษาหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance: PM) โดยศึกษาการเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องมือกลด้วยระบบงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำอัดลม เพื่อเพิ่มค่าประสิทธิผลโดยรวมให้กับเครื่องมือกลที่ใช้ในการผลิตอะไหล่เครื่องจักรให้กับสายการผลิตน้ำอัดลม ซึ่งอะไหล่ที่ทำการผลิตคิดเป็นมูลค่า 27,776,428 บาทต่อปี ด้วยการจัดทำระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้กับเครื่องมือกล ซึ่งมีปัญหาการหยุดกะทันหันของเครื่องที่สูง

แนวทางการศึกษา

การดำเนินงานวิจัยนี้ใช้หลักการการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เริ่มจากเก็บข้อมูลเครื่องจักรและอุปกรณ์ในสายการผลิตอะไหล่เพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อการหยุดอย่างกะทันหันจากนั้นดำเนินการวิเคราะห์ถึงปัญหาพร้อมหาแนวทางแก้ไข แล้วจึงดำเนินการปรับปรุงเครื่องมือกลโดย ตัวชี้วัดของงานวิจัยนี้จะใช้ค่าประสิทธิผลโดยรวม ค่าเวลาซ่อมเครื่องเฉลี่ยและค่าเวลาเดินเครื่องเฉลี่ย และนำสถิติ การทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยมาสรุปผลการวิจัยก่อนและหลังดำเนินการ เมื่อดำเนินการเสร็จจะนำข้อมูลที่รวบรวมมาพยากรณ์ค่าเวลาเดินเครื่องเฉลี่ยในอนาคตเพื่อทำการวางแผนในการซ่อมบำรุงต่อไป

ผลการประยุกต์ใช้ PM พบว่า ค่าเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยจาก 192.66 ชั่วโมงต่อครั้งเป็น 486.76 ชั่วโมงต่อครั้ง หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 152.65 และค่าเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซมลดลงโดยเฉลี่ยจาก 7.11 ชั่วโมงต่อครั้ง เป็น 0.39 ชั่วโมงต่อครั้ง หรือลดลงร้อยละ 94.51 และวัดค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องมือกลโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจากเดิมเฉลี่ยร้อยละ 74.18 เป็น 86.00

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า สามารถนำ PM ไปใช้เป็นแนวทางในการบำรุงรักษาเครื่องมือเก็บตัวอย่างด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ และช่วยให้สามารถใช้งานเครื่องมือได้เต็มประสิทธิภาพ

สรุป

การบำรุงรักษาเครื่องมือและจัดโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ดีและมีประสิทธิภาพจะช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องมือไปได้ยาวนาน การกำจัดการเสื่อมสภาพทั้งสองลักษณะนี้จะป้องกันได้อย่างไรนั้นเป็นประเด็นสำคัญที่จะลดการชำรุดเสียหายของเครื่องมืออุปกรณ์ เครื่องแต่ละชนิดมีความต้องการการบำรุงรักษาที่ต่างกัน โดยพิจารณาความต้องการการบำรุงรักษาสำหรับเครื่องมืออ่านค่าโดยตรง และเครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ วิธีการบำรุงรักษามอเตอร์ไฟฟ้าให้ปลอดภัย แบตเตอรี่สำหรับเครื่องมือ และพิจารณาการจัดเก็บที่เหมาะสม การเก็บเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ในงานด้านอาชีวอนามัยและความปลอดภัย บางอย่างมีความละเอียดบอบบาง การเก็บรักษาต้องใส่ไว้ในตู้ที่มีกุญแจใช้สารดูดความชื้นเพื่อป้องกันความเสียหาต่อเครื่องมือ อุปกรณ์บางอย่างอาจเก็บไว้นอกตู้ได้โดยจับยึงให้มั่นคง หรือบางชนิดอาจจะแขวนไว้ อุปกรณ์บางอย่างต้องเก็บในกล่องสำหรับเก็บที่มีกุญแจเพื่อสะดวกในการเคลื่อนย้าย มีหมายเลขลำดับที่ และชั้นวางในตู้ ตู้เก็บต้องมีกุญแจ การจัดเก็บจึงควรพิจารณาถึงความสำคัญตามความเหมาะสมเฉพาะของเครื่องมือการบำรุงรักษาเครื่องมือและจัดโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ดีและมีประสิทธิภาพล้วนแต่เป็นการป้องกันการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติที่เสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งานที่มีอยู่ของเครื่องมือนั้น และการเสื่อมสภาพเชิงบังคับที่เกิดขึ้นจากสภาพแวดล้อม

คำถามทบทวน

1. คำที่เกี่ยวข้องในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์มีอะไรบ้าง
2. การดูแลรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ จำแนกระบบการบำรุงรักษาไว้กี่ประเภทมีอะไรบ้าง
3. การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance : PM) มีความสำคัญอย่างไร
4. การบำรุงรักษาที่ดีจะสามารถช่วยไม่ให้เกิดความเสียหายต่อการเก็บตัวอย่างได้อย่างไร
5. เครื่องมืออ่านค่าโดยตรง (Direct Reading Instrument) สามารถบำรุงรักษาได้อย่างไร
6. เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างสำหรับห้องปฏิบัติการ สามารถบำรุงรักษาได้อย่างไร
7. เครื่องมือวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ามีการบำรุงรักษาอย่างไร
8. แบตเตอรี่สำหรับเครื่องมือในงานด้านความปลอดภัยมีกี่ประเภทอะไรบ้าง
9. การชาร์จแบตเตอรี่แต่ละชนิดอย่างไรให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
10. การจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ ควรพิจารณาถึงความสำคัญของเครื่องมืออย่างไร

เอกสารอ้างอิง

ธัญญรัตน์ และอนุสรณ์ ทนหมื่นไวย. (2559). **ทำไมต้องสอบเทียบ.** สืบค้า 8 กุมภาพันธ์ 2560 จาก http://www.mit.in.th/htmlthai/knowledge/detail/index.php?kn=8

ดุสิต สิงห์พรหมมาศ. (2559). **การเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องมือกลด้วยระบบงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษาโรงงานผลิตน้ำอัดลม.** สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ยุทธกัยวรรณ์. (2545). **การบริหารการผลิต.** กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ที่ ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพ.

วิฑูรย์ สิมะโชคดี. (2536). **วิศวกรความปลอดภัย.** กรุงเทพมหานคร: พิมพ์ที่ ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

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

อรัญ ขวัญปาน. (2554). **การบำรุงรักษาเพื่อความปลอดภัย.** กรุงเทพฯ: คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

อาร์ เค บี แบตเตอรี่. (2563). **วงจร BMS (Battery Management System) ในแบตเตอรี่แพคคืออะไร.** สืบค้า 12 พฤษภาคม 2564 จาก https://www.rkbbattery.com/2018/12/25/battery-management-system/

Octopus Electrical Service. (2020). **Wired on Water.** Retrieved, May, 12, 2021 from http://www.octopusasia.com