ระบบปรับอากาศ สำหรับห้องปฏิบัติการ (HVAC for Laboratories)

วรเสน ลีวัฒนกิจ
E-mail: vorasen@ksc.th.com

บทนำ

ระบบปรับอากาศและระบายอากาศของห้องปฏิบัติการ (HVAC for Laboratories) เป็นระบบที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น ความดันอากาศของห้อง ทิศทางการไหล ความสะอาด เสียง และต้องควบคุมกำจัดอากาศเสียที่เกิดจากการปฏิบัติงาน เพื่อสร้างสภาวะที่ปลอดภัยทั้งต่อผู้ปฏิบัติงานและชุมชน นอกจากนี้จะต้องสร้างสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับการทำงานในห้องปฏิบัติการ

ระบบ HVAC สำหรับห้องปฏิบัติการ โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับห้องปฏิบัติการทางชีวภาพ เช่น ห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง มักต้องการระบบที่ใช้อากาศภายนอก 100% และต้องการการเดินเครื่องตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้น การออกแบบที่ดีจะต้องคำนึงถึงสภาวะอากาศภายนอกทุกฤดูกาล เพื่อทำให้ระบบสามารถจัดการและควบคุมการทำงานได้ดี ทั้งสภาวะที่มีภาระความร้อนมากและน้อย

นอกจากนี้การออกแบบระบบ HVAC สำหรับห้องปฏิบัติการ จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดและมาตรฐานของห้องปฏิบัติการ เช่น ข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลกสำหรับห้องปฏิบัติการชีวนิรภัย (Biosafety Laboratories) หรือข้อกำหนดขององค์กร AAALAC–American Association for Accreditation of Laboratory Animal Care สำหรับห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง เป็นต้น ดังนั้น วิศวกรที่ทำงานในด้านนี้จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงเกณฑ์ต่างๆ ในการประเมิน และรับรองระบบของห้องปฏิบัติการ

ชนิดของห้องปฏิบัติการ

ห้องปฏิบัติการแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ได้ดังนี้ (ASHRAE Handbook 2007 CH 14)

1. ห้องปฏิบัติการชีวภาพ (Biological Laboratories) เป็นห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับวัตถุที่มีชีวิต หรือสารเคมีสกัดจากสิ่งมีชีวิต

2. ห้องปฏิบัติการเคมี (Chemical Laboratories) เป็นห้องปฏิบัติการที่ทำงานกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

3. ห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง (Animal Laboratories) เป็นห้องปฏิบัติการที่ใช้สัตว์ทดลองในการปฏิบัติงาน ห้องปฏิบัติการชนิดนี้จะมีข้อกำหนดพิเศษเพิ่มเติมจากห้องปฏิบัติการชีวภาพทั่วไป เนื่องจากจะต้องปฏิบัติงานกับสัตว์ทดลองที่ยังมีชีวิตอยู่

4. ห้องปฏิบัติการทางฟิสิกส์ (Physical Laboratories) เป็นห้องปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ฟิสิกส์ เช่น แสงเลเซอร์ นิวเคลียร์ วัตถุอุณหภูมิสูงหรือต่ำ อุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

การประเมินและจัดการวัตถุอันตรายจากห้องปฏิบัติการ

การปฏิบัติการในห้องปฏิบัติการมักจะต้องเกี่ยวข้องกับวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ เช่น สารมีพิษ สารติดไฟง่าย สารก่อมะเร็ง ก๊าซควบแน่นชนิดต่างๆ รวมทั้งวัตถุอันตรายทางชีวภาพ (Biohazard) หรือวัตถุกัมมันตภาพรังสี เป็นต้น ดังนั้นวิศวกรที่ทำงานจะต้องศึกษาและปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญทางในการประเมินวัตถุอันตรายก่อนการออกแบบทุกครั้ง เพื่อความปลอดภัยและสอดคล้องตามข้อกำหนด คำแนะนำ และมาตรฐานในงานนั้นๆ

การประเมินความเสี่ยง และการวิเคราะห์วัตถุอันตรายมักใช้วิธี การวิเคราะห์เพื่อจำลองเหตุการณ์เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน หาผลกระทบ และวิเคราะห์ภาวะฉุกเฉินที่เกิดขึ้น (FMECA-Failure Mode, Effects, and Critically Analysis) เพื่อทำการป้องกันเหตุการณ์ต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้น รวมทั้งวิธีแก้ไขสถานการณ์ต่างๆ โดยมีการทำคู่มือปฏิบัติการ รวมทั้งการจัดการต่างๆ สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องทุกคนอย่างเป็นระบบไว้ก่อนล่วงหน้า

พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบระบบ HVAC ห้องปฏิบัติการ

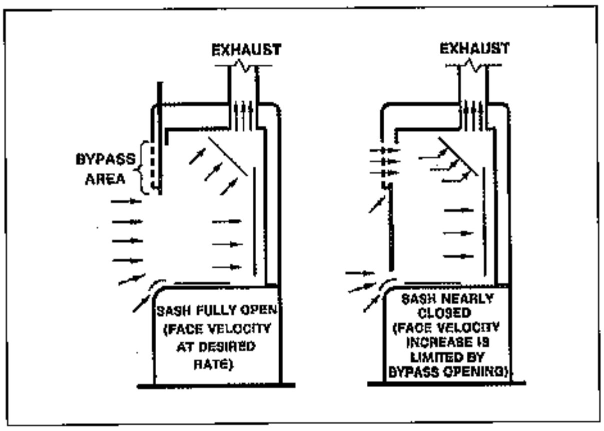
พารามิเตอร์สำหรับการออกแบบระบบ HVAC ห้องปฏิบัติการ มีดังนี้

1. อุณหภูมิและความชื้น ทั้งภายในห้องและบรรยากาศภายนอกห้อง
2. คุณภาพอากาศ จะต้องระบุระบบกรองอากาศและวิธีการบำบัดอากาศเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงาน เช่น ปริมาณอากาศภายนอก การใช้ HEPA Filter หรือ Activated Carbon Filter ในการกรองกลิ่น เป็นต้น
3. ภาระความร้อนทั้ง Sensible heat และ Latent Heat
4. อัตราการระบายอากาศ
5. ปริมาณอากาศที่ถูกดูดทิ้งจากอุปกรณ์ Exhaust ต่างๆ เช่น ชนิดอุปกรณ์ที่ใช้ ความเร็วลมขณะทำงาน และช่วงเวลาที่ใช้งาน เป็นต้น
6. ตำแหน่งหัวจ่ายลมเข้าและลมออก
7. การจัดเตรียมอุปกรณ์เมื่ออุปกรณ์หลักเสีย (Stand by) และการเตรียมอุปกรณ์ไฟฟ้าฉุกเฉิน รวมทั้งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงในอนาคต
8. การแจ้งเหตุกรณีฉุกเฉิน
9. การควบคุมแรงดันอากาศของห้องปฏิบัติการ

อุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการที่มีผลต่อระบบปรับอากาศ

อุปกรณ์หลักที่มักใช้ในห้องปฏิบัติการ ที่มีผลกับการปรับสมดุลอากาศ คือ Fume Hood และ Biological Safety Cabinet

1. Fume Hood เป็นตู้หรือกล่องปิด ที่มีระบบควบคุมอากาศในการจัดการ สารระเหย หรือสารเคมีที่ทำการทดลองภายในกล่องปิดนี้ไม่ให้ออกสู่ภายนอก Fume Hood ประกอบด้วย กล่องปิดด้านบน ด้านข้าง ด้านล่าง (หรือ Counter Top) โดยมีด้านเปิดอยู่หนึ่งด้าน (Face) มีหน้าต่างบานเลื่อน (Sash) และมีปล่องระบายอากาศเสีย (Exhaust)



รูปที่ 1 Fume Hood (ภาพจาก www.ahrae.org)

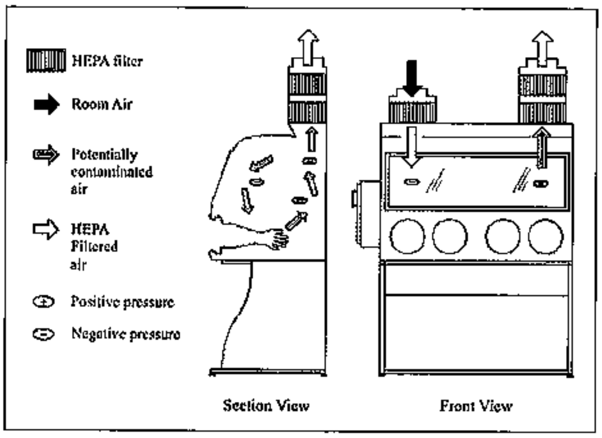
2. Biological Safety Cabinet เป็นอุปกรณ์จำเป็นสำหรับห้องปฏิบัติการชีวนิรภัย ทำหน้าที่ป้องกันนักวิจัยจากชีวะวัตถุที่ทำการทดลอง แบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม คือ

- Class I คล้ายๆ Fume Hood แต่มี 100% Exhaust ผ่าน Hepa Filter
- Class II Type A1 มีระบบอากาศ 70% recirculation within Cabinet และ 30% exhaust ผ่าน Hepa Filter
- Class II Type B1 มีระบบอากาศ 30% recirculation within Cabinet และ 70% exhaust ผ่าน Hepa Filter ไปทิ้งภายนอก

• Class II Type B2 มีระบบอากาศ 100% exhaust ผ่าน Hepa Filter ไปทิ้งภายนอก

• Class II Type A2 มีระบบอากาศ 70% recirculation within Cabinet และ 30% Exhaust ผ่าน Hepa Filter ไปทิ้งภายนอก

• Class III เป็นระบบป้องกันอย่างเข้มงวดที่สุด อากาศ 100% Exhaust ผ่าน Hepa Filter ไปทิ้งภายนอก นักวิจัยต้องสอดมือผ่านถุงมือไปยังวัตถุที่อยู่ใน Safety Cabinet เพื่อทำการทดลอง



รูปที่ 2 Biological Safety Cabinet ชนิด Class III (ภาพจาก www.publichealth.gc.ca)

ระบบจ่ายลมเข้า (Supply Air Systems)

ระบบจ่ายลมเข้าสำหรับห้องปฏิบัติการมีจุดประสงค์เพื่อ

• ควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมแก่ผู้ปฏิบัติงาน

• ควบคุมปริมาณ และอัตราการไหลของอากาศให้ได้ค่าตามข้อกำหนด

• ชดเชยอากาศที่ถูกดูดทิ้งจากอุปกรณ์ Fume Hood และ Safety Cabinet

• ควบคุมแรงดันห้องเพื่อให้ได้ค่าตามข้อกำหนด

• ควบคุมสภาวะของห้องให้เหมาะสมกับการทำงานในห้องปฏิบัติการ

ระบบจ่ายลมเข้าจะต้องเลือกชนิดของวัสดุท่อลม ขนาด และการจัดวางท่อลมให้เหมาะสม โดยระบบจ่ายลมอาจออกแบบเป็น Constant-Volume หรือ Variable-Volume ซึ่งอาจใช้ระบบ Single-Duct Reheat หรือ dual-duct ทั้งนี้จะต้องเลือกระบบท่อลมให้เหมาะสมกับแรงดันในท่อลม (Low, Medium or High Pressure Duct Work)

ระบบระบายอากาศเสีย (Exhaust Systems)

ระบบระบายอากาศเสียทำหน้าที่ระบายอากาศเสียจาก Fume Hood หรือ Safety Cabinet และระบายอากาศเสียจากห้องปฏิบัติการเองไปทิ้งภายนอก โดยจะต้องควบคุมปริมาณอากาศทิ้งให้เหมาะสมกับปริมาณอากาศเข้าเพื่อควบคุมแรงดันให้ได้ค่าตามที่ออกแบบไว้ ระบบระบายอากาศเสียมีความสำคัญต่อความปลอดภัยมาก ดังนั้น การออกแบบจะต้องคำนึงถึงระบบ Stand by ในกรณีฉุกเฉินต่างๆ รวมทั้งจะต้องเตรียมอุปกรณ์ Stand by ในกรณีที่ต้องทำการซ่อมบำรุง ซึ่งในบางครั้งยังต้องใช้งานห้องปฏิบัติการในขณะซ่อมบำรุงด้วย

ระบบระบายอากาศเสียจะต้องบำบัดอากาศเสียก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ การเลือกขบวนการบำบัดอากาศเสียจะขึ้นกับชนิด และปริมาณของเสียจากห้องปฏิบัติการ อุปกรณ์บำบัดอากาศที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบกรองอากาศก่อนปล่อยทิ้ง ระบบ Scrubbing ระบบ Fan-powered dilution ระบบ Condensing และระบบ Oxidization เป็นต้น

ระบบระบายอากาศเสีย สามารถออกแบบเป็น Constant-Volume หรือ Variable-Volume ก็ได้ แต่มักจะนิยมระบบ Variable-Volume พร้อมระบบควบคุมความดันแบบ Pressure Independent ทั้งนี้เนื่องจากภาระการทำงานของอากาศ มักจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากมีการใช้ Fume Hood หรือ Safety Cabinet ไม่พร้อมกัน

การควบคุมการรั่วของท่อลมเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากอากาศที่รั่วอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนและสร้างอันตรายแก่ผู้อื่นได้ ระบบท่อลมสำหรับห้องปฏิบัติการจะต้องผ่านการทดสอบเพื่อให้มั่นใจว่าอัตราการรั่วอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน Low Leak Rate พัดลม Exhaust Fan ด้าน Discharge จะต้องติดตั้งให้อากาศเสียไหลออกสู่ปล่องอากาศเสียที่พุ่งขึ้นแนว Vertical Discharge เพื่อป้องกันอากาศไหลย้อนเข้าอาคาร นอกจากนี้หากติดตั้งพัดลมระบายอากาศเสียภายในห้องเครื่องจะต้องมีระบบระบายอากาศที่ดีเพื่อป้องกันอากาศเสียที่อาจรั่วจากแกนเพลาของพัดลมระบายอากาศมายังห้องเครื่อง

การป้องกันอัคคีภัย

มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยสำหรับห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้คือ NFPA Standard 45, Fire Protection for Laboratories Using Chemicals สำหรับห้องปฏิบัติการที่ตั้งอยู่ในสถานพยาบาล มักใช้มาตรฐาน NFPA Standard 99, Healthcare Facilities ซึ่งหลักการในการควบคุมอัคคีภัยจะอ้างอิงถึง การปรับสมดุลอากาศ (Air Balance) การใช้ Fire Dampers การกำหนดสัญญาณเตือนภัยชนิดต่างๆ รวมทั้งระบบการจัดการเมื่อมีเหตุเพลิงไหม้ เป็นต้น

ระบบควบคุมการทำงานระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศจะต้องควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และความดันของห้อง รวมทั้งจะต้องติดตามการทำงานของอุปกรณ์ความปลอดภัย (Safety Device) ต่างๆ พร้อมทั้งทำการบันทึกเพื่อตรวจสอบ เพื่อให้มั่นใจด้านความปลอดภัย

ระบบปรับอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการมักเป็นแบบ Variable-Volume with Pressure Independent เพื่อปรับปริมาณลม ควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น ความดันของห้อง ให้เหมาะสมกับการทำงานตลอดเวลา ปัจจัยหลักๆ ของระบบควบคุมคือ

- ควบคุมปริมาณ Minimum Air Change Rate ให้มีค่าไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน
- กำหนดจุดติดตั้ง Sensor ให้ถูกต้อง
- การเลือกใช้ Sensor Accuracy ให้ถูกต้อง
- การควบคุมให้ระบบมีเสถียรภาพ แม้ในสภาวะที่ถูกรบกวนจากปัจจัยภายนอกต่างๆ เช่น การเปิด/ปิดประตู หรือเมื่อแผงกรองอากาศเริ่มตัน เป็นต้น
- ตรวจติดตาม รายงานผล และแจ้งเหตุให้เจ้าหน้าที่ทราบ

ระบบปรับอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลอง

ระบบปรับอากาศสำหรับห้องปฏิบัติการสัตว์ทดลองเป็นระบบที่นอกจากจะต้องควบคุม อุณหภูมิ ความชื้น ความดันห้อง ความสะอาด ดังเช่นห้องปฏิบัติการชีวภาพทั่วไปแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงระเบียบข้อบังคับ มาตรฐาน และจรรยาบรรณในการใช้สัตว์ทดลองด้วย โดยมาตรฐานที่สำคัญ ได้แก่

- Code of Federal Regulations (CFR) 21,
  - Part 58, Good Laboratory Practice for Non-clinical Laboratory Studies
  - Part 210, Current Good Manufacturing Practice in Manufacture, Processing, Packing or Holding of Human and Veterinary Drugs
- Guide for Care and Use of Laboratory Animals, National Research Council
- Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, CDC
- American Association for Accreditation of Laboratory Animal Care (AAALAC) Guideline

ผู้ออกแบบระบบปรับอากาศสำหรับสัตว์ทดลองจะต้องอ้างอิงเกณฑ์ต่างๆ ที่ระบุไว้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบ เกณฑ์หลักๆ ในการออกแบบเป็นดังนี้

- อุณหภูมิและความชื้น จากจรรยาบรรณการใช้สัตว์ทดลองที่กำหนดโดย ILAR (1996) ระบุให้ควบคุมอุณหภูมิให้คลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ ± 2 F เทียบกับค่า Set Point ทั้งนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดของสัตว์ทดลอง เช่น หนูทดลองชนิดต่างๆ จะมีช่วงอุณหภูมิกระเปาะแห้งที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 64-79°F เป็นต้น สำหรับช่วงความชื้นสัมพัทธ์ให้ควบคุมอยู่ที่ 30-70% RH
- อัตราการไหลของอากาศ ระบุให้มีอากาศไหลเวียน Air Change Rate per Hour อยู่ที่ 10-15 ACH โดยจะต้องเป็นอากาศภายนอกทั้งหมด (All Outside Air) ทั้งนี้การเลือกปริมาณ ACH Rate นี้ ให้คำนึงปัจจัยอื่นๆ ด้วย เช่น
  - ชนิดของกรงที่เลี้ยง
  - Species ของสัตว์ทดลอง/ภาระความร้อนที่เกิดจากสัตว์ทดลองชนิดต่างๆ
  - ปริมาณสัตว์ทดลองในแต่ละห้อง
  - อุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้
  - อุปกรณ์การทดลองอื่นๆ ที่ตั้งอยู่ในห้องทดลอง ที่มีผลต่อภาระความร้อน

- ความดันของห้องสัตว์ทดลอง ขึ้นอยู่กับชนิดและกิจกรรมของห้องสัตว์ทดลอง
- การกระจายอากาศ และการควบคุมทิศทางการไหลของอากาศ
- การ Zoning เครื่องปรับอากาศ ตามชนิดของกิจกรรม เพื่อป้องกันการปนเปื้อน
- ระบบกรองอากาศ
- ระบบบำบัดอากาศเสีย
- การทำความสะอาดระบบและการฆ่าเชื้อโรค
- การจัดเตรียมระบบสำรองเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน.

References

1. ASHRAE 2005, ASHRAE Laboratory Design Guide, Atlanta: ASHRAE.
2. ASHRAE 2007, 2007 ASHRAE Handbook Chapter 14 Laboratories, Atlanta: ASHRAE.
3. Center of Disease Control and Prevention (CDC) and National Institutes of Health (NIH), 1999, Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories, 4th ed. US Bethesda, Md:Department of Health and Human Services.
4. National Research Council (NRC) 1996. Guide for the Care and Use of Laboratories Animals, Washington D.C.: Institute of Laboratory Animal Resources, Commission on Life Science.
5. World Health Organization. Laboratory Biosafety Manual. 1983 Washington D.C.: WHO Publications Center.
6. Oregon State University, Environmental Health and Safety, 2009: www.oregonstate.edu