

หน่วยที่ 6 การตรวจวัดและประเมินสภาพความร้อนและความเย็น

ความร้อน เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของวัตถุ แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอิทธิพลต่อร่างกายของคน คือ ความร้อนจากระบวนการเผาผลาญสารอาหารภายในร่างกาย ความร้อนจากการทำงาน และความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ประเภทอุตสาหกรรมที่เสี่ยงต่อความร้อน ได้แก่ การผลิตน้ำตาลและทำให้บริสุทธิ์ การปั่นทอที่มีการฟอกหรือย้อมสี การผลิตเยื่อกระดาษหรือกระดาษ การผลิตยางรถยนต์หรือล้อดอกยาง การผลิตกระจก เครื่องแก้วหรือหลอดไฟ การผลิตซีเมนต์หรือปูนขาว การถลุง หล่อหลอมหรือรีดโลหะ และกิจการที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนหรือมีการทำงานที่อาจทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับอันตรายเนื่องจากความร้อน

งานเบา หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงน้อยหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

งานปานกลาง หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงปานกลางหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง ถึง 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

งานหนัก หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงมากหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

อย่างไรก็ตาม ACGIH (2007) ได้จำแนกความหนักเบาของงานเพิ่มขึ้นอีก 1 ระดับ คือ

งานหนักมาก หมายความว่า ลักษณะงานที่ใช้แรงมากอย่างรวดเร็วสูงสุด หรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกาย 447 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง ขึ้นไป

ประเภทของความร้อนในงานอุตสาหกรรม

การประกอบกิจการในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ นั้น มีลักษณะของกระบวนการผลิตที่ก่อให้เกิดความร้อนซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ ความร้อนในงานอุตสาหกรรม อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ความร้อนแห้ง เป็นความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตที่ร้อนและมีความชื้นในอากาศน้อย เช่น โรงงานหล่อหลอมโลหะ โรงงานถลุงโลหะ โรงงานรีดโลหะให้เป็นเส้นหรือแผ่นเรียบ โรงงานแก้ว และโรงงานเครื่องเคลือบดินเผา หรือเผาอิฐ เป็นต้น

2. ความร้อนเปียก เป็นสภาพความร้อนที่มีไอน้ำหรือความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากกรรมวิธีผลิตแบบเปียก เช่น โรงงานขนมอบอาหาร ห้องครัวที่ต้องใช้เตาเผา หรือเตาอบ โรงงานยาง โรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ โรงงานซักรีด และโรงงานฟอกย้อม เป็นต้น

การถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายกับสิ่งแวดล้อม และสมดุลความร้อน

โดยทั่วไปแหล่งความร้อนที่เกิดขึ้นภายในร่างกาย และความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกนั้น สามารถถ่ายเทระหว่างกันได้ จากแหล่งที่มีระดับความร้อนสูงกว่าไปยังแหล่งที่มีระดับความร้อนต่ำกว่าโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน เมื่อร่างกายได้รับความร้อน ร่างกายจะพยายามควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาด้วยกลไกต่างๆ เพื่อรักษาระดับความร้อนภายในร่างกายให้คงที่ โดยมีอุณหภูมิปกติที่ 37 องศาเซลเซียส ความพยายามในการรักษาระดับความร้อนของร่างกายนี้เป็นไปตามสมการสมดุลความร้อน

หน่วยของปริมาณความร้อนที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ แคลอรี (Calorie ; Cal) กิโลแคลอรี (Kilocalorie ; Kcal) และ บีทียู (British Thermal Units ; BTU)

- ความร้อน 1 แคลอรี คือ ปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำบริสุทธิ์ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส

สมดุลความร้อนในร่างกาย

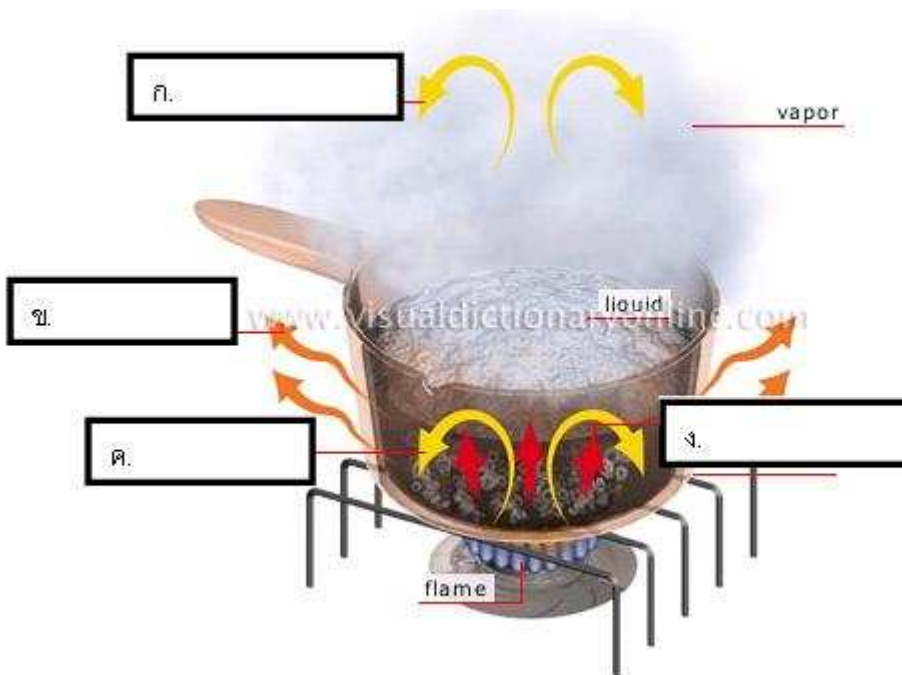
มนุษย์มีอุณหภูมิร่างกายปกติ (Normal body temperature) อยู่ที่ 37 องศาเซลเซียส หรือ 98.6 องศาฟาเรนไฮต์ ซึ่งควบคุมโดยศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายที่สมองส่วนไฮโปทาลามัส ที่ทำหน้าที่ควบคุมการระบายความร้อน

อุณหภูมิร่างกายของมนุษย์แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ อุณหภูมิแกน (Core temperature) และอุณหภูมิผิว (Surface temperature) อุณหภูมิร่างกายจึงเป็นผลรวมของอุณหภูมิแกนและอุณหภูมิผิว

1. อุณหภูมิแกน (core temperature) เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากอวัยวะที่อยู่ในส่วนลึกของร่างกาย เช่น สมอง หัวใจ ปอด และไต เป็นต้น ซึ่งในทางปฏิบัตินิยมวัดค่าอุณหภูมิแกนทางทวารหนัก อุณหภูมิแกนจะมีค่าเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ แม้ว่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมภายนอกจะเปลี่ยนไป โดยปกติจะอยู่ในช่วง 36.5 ถึง 37.5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแกนจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาระหว่างวัน โดยมีค่าสูงสุดในช่วงตอนเย็นและต่ำสุดในช่วงตอนเช้า

2. อุณหภูมิผิว (surface temperature) เป็นอุณหภูมิที่อยู่บริเวณผิวหนังและไขมันใต้ชั้นผิวหนัง ผิวหนังช่วยควบคุมอุณหภูมิแกนให้มีค่าค่อนข้างคงที่ ซึ่งกระทำโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณเลือดที่ไหลมายังผิวหนัง อุณหภูมิผิวมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามสภาวะแวดล้อมภายนอกและภายในร่างกาย

เมื่อร่างกายได้รับความร้อน อุณหภูมิร่างกายของมนุษย์อาจเปลี่ยนแปลงได้ในช่วงแคบๆ โดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกาย นั่นคือ ประมาณ 37 ± 1 องศาเซลเซียส ดังนั้น ร่างกายจึงพยายามควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ตลอดเวลาด้วยกลไกต่างๆ เช่น การหลั่งเหงื่อ รู้สึกกระหายน้ำ และมีเลือดไหลเวียนมาที่ผิวเพื่อคายความร้อนมากขึ้น เป็นต้น



- ก. การพาความร้อน ผ่านไอน้ำในอากาศ
- ข. การแผ่รังสีความร้อน
- ค. การพาความร้อนผ่านของเหลว
- ง. การนำความร้อนจากเปลวไฟมายังภาชนะที่ทำด้วยโลหะ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดและประเมินสภาพความร้อน

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดสภาพความร้อน ประกอบด้วย การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งมีหลายชนิดตามวัตถุประสงค์ของการทำงาน การวัดความเร็วลมโดยใช้แอนนิโมมิเตอร์ และการวัดความชื้นของอากาศ ซึ่งนิยามวัดในหน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ โดยใช้ไซโครมิเตอร์หรือไฮโกรมิเตอร์ สำหรับการประเมินสภาพความร้อน เพื่อให้ทราบถึงระดับความรุนแรงของอันตรายจากความร้อนนั้น สามารถทำได้ 2 ทาง คือ การวัดโดยการวิเคราะห์หึ่งแวดล้อมในรูปดัชนีความเค้นของความร้อน (Heat Stress Indices) และการวิเคราะห์ทางสรีรวิทยาที่เปลี่ยนแปลงไปของแรงงาน ในรูปดัชนีความเครียดของความร้อน (Heat Strain Indices) ในทางปฏิบัตินิยมใช้ดัชนีความเค้นมากกว่า

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดความร้อน

การตรวจวัดระดับความร้อน มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ควรทำการตรวจวัด 3 ประการ คือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นของอากาศ

1. การวัดอุณหภูมิ โดยการใช้อุปกรณ์วัดระดับพลังงานความร้อนของวัตถุ ซึ่งก็คืออุณหภูมิของวัตถุนั้นเอง

อุณหภูมิ (Temperature) คือ คุณสมบัติทางกายภาพของระบบ โดยจะใช้เพื่อแสดงถึงระดับพลังงานความร้อน เป็นการแทนความรู้สึกทั่วไปของคำว่า "ร้อน" และ "เย็น" โดยวัตถุที่มีความร้อนสูงก็จะมีอุณหภูมิสูง เครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิคือ เทอร์โมมิเตอร์

ในระบบหน่วยระหว่างประเทศ (International System of Units) หรือ ระบบเอสไอ (SI) อุณหภูมิของศาสตร์นิยมจะใช้เคลวิน ส่วนอุณหภูมิสัมพัทธ์จะเป็นองศาเซลเซียส และฟาเรนไฮต์ เป็นต้น

- 1) เคลวิน (Kelvin; K) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหน่วยหนึ่ง และเป็นหน่วยพื้นฐานหนึ่งในเจ็ดของระบบเอสไอ นิยามให้เท่ากับ $1/273.16$ เท่าของอุณหภูมิเทอร์โมไดนามิกของจุดรวมสามสถานะของน้ำ
- 2) องศาเซลเซียส (Celsius; °C) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหน่วยหนึ่งในระบบเอสไอ กำหนดให้จุดเยือกแข็งของน้ำคือ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ และจุดเดือดคือ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ปัจจุบันองศาเซลเซียสใช้กับแพร่หลายทั่วโลก ยกเว้นสหรัฐอเมริกาและประเทศจาไมกาเท่านั้นที่นิยมใช้หน่วยองศาฟาเรนไฮต์ แต่ในประเทศดังกล่าว องศาเซลเซียสและเคลวินก็ใช้มากในด้านวิทยาศาสตร์
- 3) องศาฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit; °F) เป็นหน่วยวัดอุณหภูมิหน่วยหนึ่งที่ถูกตั้งชื่อตามนักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน เกเบรียล ฟาเรนไฮต์ (ค.ศ. 1686-1736) โดยที่ค่าสเกลฟาเรนไฮต์นี้มีจุดเยือกแข็งอยู่ที่ 32 องศา โดยปกติจะเขียนว่า 32°F และมีจุดเดือดที่ 212 องศา โดยที่มีระยะห่างระหว่างจุดเยือกแข็งกับจุดเดือดของน้ำคือ 180 องศา

2. การใช้เครื่องมือวัดความเร็วลม เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเร็วลมมีหลายชนิดด้วยกัน เช่น ฮอทไวร์ แอนนิโมมิเตอร์ (Hot Wire anemometer) แวนแอนนิโมมิเตอร์ (Vane anemometer) และคาตา แอนนิโมมิเตอร์ (Kata anemometer) แต่ชนิดที่นิยมใช้กันมากคือ ฮอทไวร์ แอนนิโมมิเตอร์ โดยเครื่องมือชนิดนี้ใช้หลักการวัดความสูญเสียความร้อนของเส้นลวดที่ถูกทำให้ร้อนโดยแบตเตอรี่

3. การวัดความชื้นของอากาศ ความชื้นของอากาศ คือ ปริมาณไอน้ำในอากาศ ซึ่งเป็นสิ่งที่มีผลต่อการระเหยของเหงื่อและการระเหยของน้ำจากเนื้อเยื่อที่ชุ่มชื้นต่างๆในร่างกายเช่น ปอด ทางเดินหายใจ เยื่อบุตา เป็นต้น ความชื้นก็คือปริมาณไอน้ำในอากาศนั่นเอง ถ้าบริเวณใดมีปริมาณไอน้ำในอากาศมากบริเวณนั้นก็มีความชื้นสูง หน่วยวัดที่นิยมใช้ในการวัดระดับความชื้นในอากาศคือ ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity; RH) หมายถึง อัตราส่วนโดยมวลของไอน้ำในอากาศในขณะหนึ่ง(ที่อุณหภูมิหนึ่ง) ต่อ ไอน้ำสูงสุดที่อากาศ (ที่อุณหภูมินั้น) สามารถแบกรับไว้ได้ หากระดับไอน้ำ ณ ขณะนั้นมากเกินกว่า (> 100%) ความสามารถของอากาศจะรองรับได้ ไอน้ำจะควบแน่น (Condensation) และกลายเป็นหยดน้ำในที่สุด ตัวอย่างเช่น อากาศ ณ บริเวณหนึ่งที่มีความชื้นสัมบูรณ์เป็น 100% จะหมายความว่าอากาศนั้นได้ "อิ่มตัว" (Saturated) และไม่สามารถรับไอน้ำไว้ได้อีกต่อไป ถ้าเราพยายามใส่ไอน้ำเป็นปริมาณเกินกว่าที่อากาศสามารถแบกรับไว้ได้แล้ว ไอน้ำส่วนที่เกินนั้นจะ "กลั่นตัว" (Condense) ออกมาเป็นหยดน้ำเหลือไว้แต่เพียงปริมาณไอน้ำที่ยังคงอิ่มตัวและมีความชื้นสัมพัทธ์ เป็น 100% อยู่ปรากฏการณ์นี้คือการเกิดฝนนั่นเอง โดยทั่วไปคนเราจะรู้สึกสบายพอดีที่ความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 45%

วิธีที่แพร่หลายในการหาความชื้นสัมพัทธ์ เรียกว่า “เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์แบบกระเปาะแห้ง – กระเปาะเปียก” (Dry – wet bulbs psychrometer) ซึ่งมีหลายแบบ แบบที่เป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ แอสไพเรตเต็ดไซโครมิเตอร์ (Aspirated psychrometer)

ดัชนีกระเปาะเปียกและ โกลบ เป็นดัชนีวัดระดับความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานตามกฎหมายในประเทศไทย ซึ่งกำหนดให้ใช้ดัชนีนี้ในการวัดระดับความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน ตรวจวัดโดยใช้ค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาสองชั่วโมงที่มีอุณหภูมิเวดบัลด์ โกลบสูงสุดของการทำงานปกติ มีหน่วยวัดเป็นองศาเซลเซียสหรือองศาฟาเรนไฮต์

- ... ✘ ...1. ในการตรวจวัดระดับความร้อน มีปัจจัยสำคัญที่ควรทำการตรวจวัดคืออุณหภูมิอากาศเท่านั้น
- ... ✘ ...2. ฮอทไวร์ แอนนิโมมิเตอร์ เป็นเครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ที่ใช้หลักการยืดหรือขยายตัวของเส้นผม เมื่อได้รับความชื้นในอากาศ
- ... ✔ ...3. แอสไพเรตเต็ดไซโครมิเตอร์ ประกอบด้วย เทอร์โมมิเตอร์ 2 ชนิด คือ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง และ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก
- ... ✔ ...4. ความเร็วลม สามารถคาดประมาณได้โดยใช้ความรู้สึกสัมผัส
- ... ✔ ...5. อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 68 องศาฟาเรนไฮต์

แนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพความร้อน

แนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพความร้อนในสถานประกอบการ ประกอบด้วย

- 1) การทบทวนข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับสถานที่ทำงาน
- 2) การเดินสำรวจโดยรอบ
- 3) การประเมินภาระงาน โดยพิจารณาจากระยะเวลาการทำงานและความหนักเบาของงาน
- 4) การตรวจวัดความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน
- 5) การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดและเทียบกับมาตรฐาน/กฎหมาย
- 6) การติดตามตรวจสอบเป็นระยะ ทั้งการตรวจวัดระดับความร้อนในที่ทำงาน การตรวจสอบด้านสุขภาพร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน และการตรวจสอบ ประเมินประสิทธิภาพของมาตรการป้องกันควบคุม

การประเมินภาระงาน (Work-Load assessment) โดยพิจารณาจากระยะเวลาการทำงาน และลักษณะการทำงานว่าเป็นงานหนัก งานปานกลาง หรืองานเบา ซึ่งในการจำแนกประเภทของงานนี้ สามารถประเมินได้จากอัตราเมตาบอลิกเฉลี่ย (Averaging metabolic rates) ซึ่งเป็นค่าประมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงาน

สำหรับใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

งานเบา : ลักษณะงานที่ใช้แรงน้อยหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

งานปานกลาง : ลักษณะงานที่ใช้แรงปานกลางหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 200 - 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

งานหนัก : ลักษณะงานที่ใช้แรงมากหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง

แต่ในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานหลายพื้นที่ซึ่งมีสภาพความร้อนแตกต่างกัน ให้คำนวณอัตราเมตาบอลิกเฉลี่ยตลอดระยะเวลาการทำงานได้จากสูตร

$$\text{Average } M = \frac{(M_1)(t_1) + (M_2)(t_2) + \dots + (M_n)(t_n)}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

เมื่อ M_1, M_2, \dots และ M_n คือ ค่าประมาณความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงาน สำหรับกิจกรรมต่างๆ มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรีต่อชั่วโมงหรือกิโลแคลอรีต่อนาที ในช่วงเวลา t_1, t_2, t_n มีหน่วยเป็นชั่วโมงหรือนาที

การตรวจวัดและประเมินความร้อนโดยใช้ดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ

1. เครื่องวัดระดับความร้อนดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ ประกอบด้วย 1) เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศซึ่งถ่ายเทความร้อนโดยการพา 2) เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นเสมือนการวัดอุณหภูมิที่ผิวหนัง และ 3) เทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ สำหรับวัดความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี ในการติดตั้งควรปรับระดับเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามให้อยู่สูงจากพื้นระดับหน้าอกของผู้ปฏิบัติงาน ตั้งเครื่องมือไว้อย่างน้อย 30 นาที ก่อนอ่านค่า บันทึกค่าอุณหภูมิและระยะเวลาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในจุดทำงานนั้นๆ สำหรับเครื่องวัดสภาพความร้อนที่ไม่สามารถคำนวณค่าได้โดยตรง ต้องนำค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์มาคำนวณด้วยสูตร ซึ่งแบ่งเป็นกรณีวัดในอาคารหรือนอกอาคารที่ไม่มีแดด และกรณีวัดนอกอาคารและมีแดด

2. ในการประเมินผลค่าดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบนั้น หากผู้ปฏิบัติงานทำงานในบริเวณที่มีสภาพความร้อนแตกต่างกันตั้งแต่สองพื้นที่ขึ้นไป ต้องตรวจวัดทุกพื้นที่ แล้วเลือกช่วงเวลา 2 ชั่วโมงที่ร้อนที่สุด มาคำนวณค่า WBGT เฉลี่ย จากนั้นให้พิจารณาระยะเวลาการทำงาน และลักษณะการทำงานเพื่อประเมินภาระงานว่าเป็นงานหนัก งานปานกลาง หรืองานเบา ซึ่งในการจำแนกประเภทของงานนี้ สามารถประเมินได้จากอัตราเมตาบอลิกเฉลี่ย แล้วจึงนำค่าระดับความร้อนที่คำนวณได้และลักษณะงานที่จำแนกได้ มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานระดับความร้อนตามที่กำหนดไว้ต่อไป

1. กรณีใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสภาพความร้อนที่ไม่สามารถคำนวณค่าจากเครื่องมือโดยตรง ให้นำค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์มาคำนวณดังนี้

1) ในกรณีวัดในอาคารหรือนอกอาคารที่ไม่มีแดด ใช้สูตร

$$WBGT = 0.7 NWB + 0.3 GT$$

2) ในกรณีวัดนอกอาคารและมีแดด ใช้สูตร

$$WBGT = 0.7 NWB + 0.2 GT + 0.1 DB$$

โดย WBGT คือ ดัชนีวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อม (Wet Bulb Globe Temperature, °C)

NWB คือ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (Natural Wet Bulb, °C) เป็นเสมือนการวัดอุณหภูมิที่ผิวหนัง ซึ่งกรณีที่เหงื่อสามารถระเหยได้ อุณหภูมินี้จะต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ

GT คือ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ (Globe Temperature, °C) เป็นการวัดความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสี

DB คือ อุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดกระเปาะแห้ง (Dry Bulb, °C) เป็นการวัดอุณหภูมิอากาศ ซึ่งถ่ายเทความร้อนโดยการพา

1. หากคนงานทำงานในบริเวณที่มีสภาพความร้อนแตกต่างกันตั้งแต่สองพื้นที่ขึ้นไป ให้ตรวจวัดสภาพความร้อนในทุกพื้นที่ แล้วเลือกช่วงระยะเวลา 2 ชั่วโมงที่ร้อนที่สุด นำค่าที่วัดได้มาคำนวณค่า WBGT เฉลี่ย ดังนี้

$$WBGT_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{(WBGT_1 \times t_1) + (WBGT_2 \times t_2) + (WBGT_3 \times t_3) + \dots + (WBGT_n \times t_n)}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}$$

$WBGT_1$ = ค่าดัชนี WBGT ณ จุดทำงานที่ 1, t_1 = ระยะเวลาที่สัมผัสความร้อน ณ จุดทำงานที่ 1

$WBGT_2$ = ค่าดัชนี WBGT ณ จุดทำงานที่ 2, t_2 = ระยะเวลาที่สัมผัสความร้อน ณ จุดทำงานที่ 2

$WBGT_n$ = ค่าดัชนี WBGT ณ จุดทำงานที่ n, t_n = ระยะเวลาที่สัมผัสความร้อน ณ จุดทำงานที่ n

$t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n = 2$ ชั่วโมงที่มีอุณหภูมิเวทบัลล์โกลบ (WBGT) สูงสุด

3. ศึกษาระยะเวลาการทำงาน และลักษณะการทำงานของพนักงาน เพื่อประเมินภาระงานว่า ลักษณะงานที่ทำในช่วง 2 ชั่วโมงที่ร้อนที่สุดของพนักงาน เป็นลักษณะงานหนัก งานปานกลาง หรือ งานเบา โดยเปรียบเทียบได้จากตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 แสดงตัวอย่างกิจกรรม/การปฏิบัติงาน ตามระดับความหนักเบา

ความหนักเบา	ตัวอย่างกิจกรรม/การปฏิบัติงาน
งานเบา (ไม่เกิน 200 กิโลแคลอรี/ ชั่วโมง)	นั่งทำงานโดยมีการเคลื่อนไหวของแขน-ขาปานกลาง เช่น งานสำนักงาน ขับรถยนต์ขนาดเล็ก ตรวจสอบ/ประกอบชิ้นส่วนวัสดุเบา เย็บปักถักร้อย
	ยืนทำงานโดยมีการเคลื่อนไหวของลำตัวเล็กน้อย เช่น ควบคุมเครื่องจักร บรรจุวัสดุน้ำหนักเบา การใช้เครื่องมือกล/เครื่องทุ่นแรงขนาดเล็ก
	เดินด้วยความเร็วไม่เกิน 2 ไมล์/ชั่วโมง (3.2 กิโลเมตร/ชั่วโมง) เช่น เดินตรวจ งาน หรือเดินส่งเอกสารจำนวนเล็กน้อย
งานปานกลาง	นั่งทำงานโดยมีการเคลื่อนไหวหรือใช้กำลังแขน-ขาค่อนข้างมาก เช่น นั่ง

(201-350 กิโลแคลอรี/ ชั่วโมง)	ควบคุมปืนจั่น เคน หรือเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในงานก่อสร้าง ประกอบ/ บรรจุวัสดุที่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก ขั้บรถบรรทุกขนาดใหญ่
	ขึ้น/เคลื่อนไหวลำตัวขณะทำงาน เช่น ยกของที่มีน้ำหนักปานกลาง ลาก-ดึง รถเข็นวัสดุที่มีล้อเลื่อน ทำงานในห้องเก็บของ ขึ้นตอกตะปู ใช้เครื่องมือกล ขนาดปานกลาง ขึ้นป้อนชิ้นงาน การขัดถู ทำความสะอาด ริดผ้า
	เดินด้วยความเร็ว 2-3 ไมล์/ชั่วโมง (3.2 – 4.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง) หรือเดิน โดยมีการถือวัสดุที่น้ำหนักไม่มาก เช่น เดินส่งเอกสารหรือท่อวัสดุสิ่งของ
งานหนัก (มากกว่า 350 กิโลแคลอรี/ ชั่วโมง)	ทำงานที่มีการเคลื่อนไหวลำตัวมาก/อย่างรวดเร็ว หรือต้องมีการออกแรงมาก เช่น ลาก ดึง หรือยกของที่มีน้ำหนักมาก (> 20 kg) โหนหรือปีนขึ้นที่สูง งานเลื่อยไม้ ขุดหรือเซาะดิน/ทรายที่มีความชื้นสูง คู้ตะแกรงในเตาหลอม แกะสลักโลหะหรือหิน การขัดถูพื้นหรือพรมที่สกปรกมาก ๆ งานก่อสร้าง และงานหนักที่ต้องปฏิบัติกลางแจ้ง
	เดินเร็วๆ หรือวิ่งด้วยความเร็วมากกว่า 3 ไมล์/ชั่วโมง (4.8 กิโลเมตร/ชั่วโมง)

ค่ามาตรฐานความร้อนตามกฎหมายของประเทศไทย

ความหนักเบาของงาน	อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส เวตบัลบีโกลบ (°C WBGT)
งานเบา ไม่เกิน 200 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง	34
งานปานกลาง 201 ถึง 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง	32
งานหนัก เกิน 350 กิโลแคลอรี/ชั่วโมง	30

จงคำนวณค่า WBGT กรณีผู้ปฏิบัติงานทำงานขุดเจาะถนนกลางแจ้ง ต้องสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง และจากการ
ตรวจวัดระดับความร้อน ได้ผลดังนี้

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (DB) = 40 °C

อุณหภูมิกระเปาะเปียกตามธรรมชาติ (NWB) = 24 °C

อุณหภูมิโกลบ (GT) = 42 °C

จากโจทย์ เป็นการทำงานนอกอาคาร มีแสงแดด จึงใช้สูตร

$$WBGT = 0.7 \text{ NWB} + 0.2 \text{ GT} + 0.1 \text{ DB}$$

แทนค่าในสูตร

$$WBGT = (0.7 \times 24) + (0.2 \times 42) + (0.1 \times 40)$$

$$= 16.8 + 8.4 + 4$$

$$= 29.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

การตรวจวัดและประเมินสภาพความร้อนโดยใช้ดัชนีความสบาย และดัชนีความร้อน

1. ดัชนีความสบาย (The Effective Temperature index; ET) ใช้เป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความรู้สึกสบายของผู้ปฏิบัติงานที่สวมเสื้อผ้าบาง ตัวแปรที่ใช้คือ อุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง อุณหภูมิกระเปาะเปียก และความเร็วลม ดัชนีนี้นิยมใช้กันมากในการจัดระบบระบายอากาศและระบบปรับอากาศที่เหมาะสม

ดัชนีความสบายที่ปรับปรุงแล้ว (The Corrected Effective Temperature; CET) ปรับปรุงจากดัชนีความสบาย โดยใช้ อุณหภูมิที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ แทนที่จะใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เพราะต้องการวัดค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีด้วย ดังนั้น ดัชนีนี้จึงมักมีค่าสูงกว่าดัชนีความสบาย ตัวแปรที่ใช้จึงเป็นอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ อุณหภูมิกระเปาะเปียก และความเร็วลม และใช้โนโมแกรมเดียวกับดัชนีความสบาย

2. ดัชนีความร้อน (Humidex index) เป็นดัชนีที่มีวิธีการประเมินที่ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้ในการปกป้องผู้ปฏิบัติงานจากอันตรายจากความร้อน โดยยึดตามมาตรฐานของ ACGIH ตัวแปรที่ใช้คือ ค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัด อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์ นำมาคำนวณและจัดทำในรูปของตาราง เพื่อให้สะดวกในการเปรียบเทียบ โดยนำปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การเคลื่อนไหวของอากาศ ภาระงาน แหล่งกำเนิดการแผ่รังสีความร้อน และความเคยชินกับความร้อน มาใช้ในการประเมินอันตรายจากความร้อนด้วย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดดัชนีความสบาย (ET) ประกอบด้วย

- ไฮโครมิเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก
- ฮอทไวร์ แอนนิโมมิเตอร์ สำหรับวัดความเร็วลม

ส่วนการวัดดัชนีความสบายที่ปรับปรุงแล้ว จะใช้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดโกลบ แทนที่จะใช้ค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เพราะต้องการวัดค่าความร้อนที่เกิดจากการแผ่รังสีด้วย

1. การทำงานในสถานที่ที่ผู้ปฏิบัติงานมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากความร้อนจัด เช่น ห้องเย็น โรงงานน้ำแข็ง และโรงงานแช่แข็ง นั้น ควรมีการตรวจวัดและประเมินสภาพความเย็นอย่างสม่ำเสมอ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการตรวจวัดและประเมินสภาพความเย็นได้แก่ 1) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ที่สำคัญคือ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และความเร็วลม 2) ปัจจัยด้านบุคคล และระดับฉนวนของเสื้อผ้า 3) ปัจจัยเกี่ยวกับงาน ที่สำคัญคือ ความหนักเบาของงาน ตารางการทำงานและเวลาพัก

2. แนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพความเย็น ทำได้โดยการประเมินสภาวะการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วย การวัดอุณหภูมิอากาศ การวัดความเร็วลม การหาค่าอุณหภูมิวินด์ ชิลล์ แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเกี่ยวกับความเย็น เช่น มาตรฐานของ ACGIH ซึ่งได้กำหนดระยะเวลาการทำงานที่ต้องสัมผัสกับความเย็นและเวลาพักสำหรับงานกะ 4 ชั่วโมง โดยคำนึงถึงความหนักเบาของงาน อุณหภูมิอากาศและปัจจัยในเรื่องวินด์ชิลล์ด้วย นอกจากนี้ ควรมีการเฝ้าระวังด้านสุขภาพ หากมีสภาวะที่ไม่เหมาะสม จะได้ดำเนินการป้องกันควบคุมเพื่อความปลอดภัยในการทำงานต่อไป

กรณีที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานในที่ที่เย็นจัด ควรตรวจสอบปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม ดังนี้

- อุณหภูมิอากาศ
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ
- ความเร็วลม หรือการเคลื่อนไหวของอากาศ

- แหล่งกำเนิดความเย็นในพื้นที่โดยรอบ
- ความเปียกชื้นของร่างกาย
- การสัมผัสกับวัตถุ/สิ่งของที่เย็น

แนวทางการตรวจวัดและประเมินสภาพความเย็น มีดังนี้

1. การประเมินสภาวะการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งประกอบด้วย การวัดอุณหภูมิอากาศ การวัดความเร็วลม การหาค่าอุณหภูมิวินด์ ชิลด์ แล้วเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานเกี่ยวกับความเย็น เช่น มาตรฐานของ ACGIH การเฝ้าระวังด้านสุขภาพ เช่น การวัดอุณหภูมิร่างกาย การสอบถามและสังเกตอาการผิดปกติเนื่องจากความเย็นของผู้ปฏิบัติงาน หากมีสภาวะที่ไม่เหมาะสม จะได้ดำเนินการป้องกันควบคุม