

แผนบริหารการสอนประจำบทที่ 2

หัวข้อเนื้อหาประจำบท

1. บทนำ
2. ความรู้พื้นฐานและสมบัติทางกายภาพของความร้อน
3. การวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสภาพปัญหาความร้อน
4. ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อน
5. การตรวจวัด WBGT ในสถานที่ทำงาน
6. การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำงานหรือภาระงาน
7. ค่ามาตรฐาน
8. การจัดการและควบคุมปัญหาสภาพความร้อน
9. บทสรุป
10. คำถามทบทวน
11. เอกสารอ้างอิง

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

1. นักศึกษาสามารถบอกความสำคัญในการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านความร้อนได้
2. นักศึกษาสามารถอธิบายกลยุทธ์ วิธีการวัดความร้อนได้
3. นักศึกษามีความตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพเกี่ยวกับความร้อนได้
4. นักศึกษามีเจตคติและค่านิยมที่ดีต่อสิ่งแวดล้อม ความตั้งใจจริงมุ่งมั่นที่จะควบคุม แก้ไข ส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมให้คงสภาพดี รวมถึงเสนอแนวทางการจัดการปัญหาด้านความร้อนในการทำงาน

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนรู้การสอนประจำบท

1. ทำแบบประเมินผลตนเองก่อนเรียน
2. บรรยายโดยใช้สไลด์ประกอบการสอน เอกสารประกอบการสอน หรือแหล่งข้อมูลอื่นๆ เพิ่มเติม
3. ร่วมอภิปราย แสดงความคิดเห็น ชักถาม หรือตอบคำถามประเด็นสงสัย
4. ศึกษาค้นคว้าเนื้อหาจากแหล่งเรียนรู้เพิ่มเติมด้วยตนเอง
5. ทำแบบประเมินผลตนเองหลังเรียน
6. ทำคำถามทบทวนประจำบทเรียน

สื่อการเรียนการสอน

1. เอกสารประกอบการสอน
2. หนังสือ ตำรา วารสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. สื่อวีดิทัศน์เพิ่มเติมจากเนื้อหา เพื่อเข้าใจถึงเนื้อหามากยิ่งขึ้น

4. แบบประเมินผลตนเองก่อนเรียนและหลังเรียน
5. คำถามทบทวนประจำบทเรียน

การวัดผลและการประเมินผล

1. สังเกตการเข้าร่วมกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ทดสอบย่อยและทำคำถามทบทวนประจำบทเรียน
3. การเข้าชั้นเรียนตรงเวลา และเข้าเรียนเป็นประจำ

บทที่ 2

การติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม เรื่อง ความร้อน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการติดตามตรวจสอบและวิเคราะห์ความร้อนในการปฏิบัติงานของพนักงาน ซึ่งเนื้อหาจะเกี่ยวข้องกับความรู้พื้นฐานและสมบัติทางกายภาพของความร้อน การวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสภาพปัญหาความร้อน ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อน การตรวจวัด WBGT ในสถานที่ทำงาน การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำงานหรือภาระงาน ค่ามาตรฐานและกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการจัดการและควบคุมปัญหาสภาพความร้อน เพื่อให้พนักงานนำไปใช้ประโยชน์และเป็นแนวทางการปฏิบัติงานในอนาคตเพื่อจัดการกับความร้อนที่เกิดขึ้น

2.1 บทนำ

ความร้อน เป็นพลังงานรูปหนึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนหรือการชนกันของโมเลกุลหรืออะตอมของสสาร หรือปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้พลังงานจลน์ในสสารเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานอื่น ๆ ได้ เช่น พลังงานแสง พลังงานกล เป็นต้น โดยความร้อนในร่างกายซึ่งได้รับอิทธิพลจากแหล่งความร้อนที่สำคัญ 2 แหล่ง ได้แก่ แหล่งภายในร่างกาย คือ กระบวนการเผาผลาญอาหารหรือเมตาบอลิซึม (การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ร่างกาย เพื่อสร้างพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตและการทำงานต่าง ๆ ของร่างกาย) และแหล่งภายนอกในร่างกาย คือ ความร้อนมาจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เช่น เครื่องจักร เตารอบ กระบวนการผลิต ดวงอาทิตย์ ฯลฯ ซึ่งถ่ายเทความร้อนมายังผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่นั้น และร่างกายพยายามรักษาสมดุลความร้อนเพื่อป้องกันการสะสมหรือสูญเสียความร้อนซึ่งนำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพได้ (วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

2.2 ความรู้พื้นฐานและสมบัติทางกายภาพของความร้อน

2.2.1 หน่วยของความร้อน

- 1) ระดับความร้อนหรืออุณหภูมิ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$) หรือ ฟาเรนไฮต์ ($^{\circ}\text{F}$)
- 2) ปริมาณความร้อน หน่วยวัดปริมาณความร้อนในระบบสากล คือ แคลอรี ปริมาณความร้อน 1 แคลอรี ทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1°C และในระบบอังกฤษมีหน่วยเป็น บีทียู ปริมาณความร้อน 1 บีทียู ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ร้อนขึ้น 1°F ดังนั้น ปริมาณความร้อนในวัตถุใด ๆ จึงไม่ขึ้นกับระดับความร้อนหรืออุณหภูมิเพียงอย่างเดียว หากขึ้นกับขนาดหรือมวลของวัตถุนั้นด้วย กล่าวคือ วัตถุที่มีอุณหภูมิเท่ากันแต่มวลต่างกันนั้น ความร้อนในวัตถุที่มีมวลมากกว่ามีปริมาณมากกว่า

$$1 \text{ แคลอรี} = 3.968 \times 10^{-3} \text{ บีทียู หรือ}$$

$$1 \text{ กิโลแคลอรี} = 3.968 \text{ บีทียู}$$

พลังงานความร้อนมีหน่วยเป็น จูล (Joule)

$$1 \text{ จูล} = 0.239 \text{ กิโลแคลอรี}$$

กำลังความร้อนมีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

$$1 \text{ วัตต์} = \text{จูล} / \text{วินาที} = 0.239 \text{ แคลอรี/วินาที}$$

$$1 \text{ กิโลแคลอรี} / \text{ชั่วโมง} = 1.163 \text{ วัตต์}$$

3) อัตราการเผาผลาญอาหาร (Metabolic Rate) คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ร่างกายเพื่อสร้างพลังงานที่ใช้ในหน่วยเวลา มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อชั่วโมงหรือวัตต์ ปริมาณพลังงานที่ร่างกายต้องการขั้นต่ำเพื่อดำรงชีวิต ซึ่งใกล้เคียงกับพลังงานที่ต้องการขณะที่พัก มีหน่วยวัดคือ กิโลจูล/ชั่วโมง/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว ในวิทยาศาสตร์การกีฬาปัจจุบันนิยมใช้ Met มาจาก Metabolic Equivalent of Task หมายถึง สัดส่วนระหว่างอัตราการเผาผลาญขณะทำงานหนึ่งกับอัตราการเผาผลาญอาหารขณะพัก 1 Met เท่ากับการเผาผลาญอาหารซึ่งมีความร้อนเกิดขึ้น 1 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมในเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งประมาณเท่ากับพลังงานที่ใช้ในการนั่งนิ่งๆ (พัก) นอกจากนี้ Met ยังหมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ในการทำกิจกรรมด้วย มีหน่วยเป็น มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที่ ซึ่ง 1 Met เท่ากับ 3.5 มิลลิลิตร /กิโลกรัม/นาที่ เท่ากับปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้ในการนั่งนิ่งๆ อย่างไรก็ตาม ในแง่ของการแลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทความร้อน ซึ่งพื้นที่ผิวหนังมีอิทธิพลมากกว่าน้ำหนักของร่างกาย หน่วยวัดอัตราการเผาผลาญอาหารจึงนิยมใช้ กิโลแคลอรี/ชั่วโมงและวัตต์/ตารางเมตรของผิวหนังหรือวัตต์นั้นคือ

$$\begin{aligned} 1 \text{ Met} &= 1 \text{ กิโลแคลอรี/ชั่วโมง/กิโลกรัมของน้ำหนักตัว หรือ} \\ &= 50 \text{ กิโลแคลอรี/ชั่วโมง/ตารางเมตรผิวหนัง} \\ &= 18.5 \text{ บีทียู/ชั่วโมง/ตารางฟุต} \\ &= 58 \text{ วัตต์/ตารางเมตรของผิวหนัง} \end{aligned}$$

$$1 \text{ กิโลแคลอรี/ชั่วโมง} = 1.162 \text{ วัตต์}$$

จะเห็นได้ว่าขนาดของรูปร่างคนมีผลต่อค่าอัตราการเผาผลาญอาหาร ดังนั้น ในการประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารหน่วยงานและนักวิจัยจึงกำหนดขนาดร่างกายมาตรฐานหรือขนาดเฉลี่ยซึ่งอาจแตกต่างกันบ้าง สำหรับองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization ISO) ได้กำหนดมาตรฐานบุคคล Average หรือ Standard Person เพื่อการคำนวณค่าต่าง ๆ ในมาตรฐาน ISO 8996 ดังนี้

- ชายอายุ 30 ปี น้ำหนัก 70 กิโลกรัม สูง 175 เซนติเมตร พื้นที่ผิวร่างกาย 1.8 ตารางเมตร (19.4 ตารางฟุต)
- หญิงอายุ 30 ปี น้ำหนัก 60 กิโลกรัม สูง 170 เซนติเมตร พื้นที่ผิวร่างกาย 1.6 ตารางเมตร (17.2 ตารางฟุต)

2.2.2 การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer) เมื่อระดับความร้อน (อุณหภูมิ) ในวัตถุหรือสสารและสิ่งแวดล้อมต่างกันย่อมเกิดการถ่ายเทความร้อนจากที่ที่มีระดับความร้อนสูงกว่าไปยังที่ซึ่งมีระดับความร้อนต่ำกว่าเสมอ การถ่ายเทความร้อนมี 3 วิธี คือ การนำ การพา การแผ่รังสี

1) การนำ (Conduction, D) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่เป็นของแข็งเป็นตัวนำหรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างของแข็ง ตัวอย่างเช่น การจับช้อนที่ร้อน ความร้อนจากช้อนถูกถ่ายเทมายังมือ ผิวสัมผัสกับเสื้อผ้า เท้าที่ยืนบนเครื่องจักรที่ร้อน ฯลฯ

ในสิ่งแวดล้อมการทำงานการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหนังและสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยการพาและการแผ่รังสีความร้อน การคำนวณเพื่อประมาณค่าความร้อนที่แลกเปลี่ยนหรือถ่ายเทระหว่างสิ่งแวดล้อมและผิวหนังเสนอแนะโดยหน่วยงานต่าง ๆ อาจแตกต่างกัน

2) การพา (Convection, C) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยตัวกลางที่เป็นของไหล นั่นคือ ตัวกลางต้องเคลื่อนที่เพื่อพาความร้อนจากจุดหนึ่งไปถ่ายเทยังอีกจุดหนึ่ง ซึ่งโดยทั่วไปตัวกลาง คือ อากาศ การถ่ายเท ความร้อนระหว่างผิวหนังและอากาศรอบ ๆ ตัวผู้ปฏิบัติงานอาศัย การพา เช่น พัดลมเป่า อากาศ ผ่านเตาหลอมและพาความร้อนมาถึงตัวผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับความร้อนจากเตา ถ้า อุณหภูมิของผิวหนัง (t_{sk}) สูงกว่าอุณหภูมิของอากาศ (t_a) ที่สัมผัสกับผิว ผิวหนังต้องถ่ายเทความร้อน ให้กับอากาศทำให้อากาศร้อนและลอยตัวขึ้น อากาศที่เย็นกว่าเคลื่อนมาแทนที่ ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนจากผิวหนังจึงเพิ่มขึ้นเมื่ออากาศพัดผ่านด้วยความเร็วคงที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดขึ้นได้โดยเครื่องกล เช่น พัดลม การพาความร้อนในลักษณะนี้เป็นการทำให้เกิด (Forced Convection) อัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นกับความเร็วลมแต่ถ้าการเคลื่อนที่ของอากาศเป็นไปโดยธรรมชาติ เรียกว่า การพาโดยธรรมชาติ (Natural Convection) ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนขึ้นกับอุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างผิวและอากาศ รอบ

3) การแผ่รังสี (Radiation, R) คือ การถ่ายเทความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลางเช่นการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์มายังโลกการแผ่รังสีความร้อนจากเตาหลอมโลหะซึ่งตั้งอยู่ในห้องที่เราสงบไม่มีอากาศ เคลื่อนไหวจึงขึ้นกับอุณหภูมิเฉลี่ยการแผ่รังสีของวัตถุที่อยู่รอบรอบและอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนังโดยปกติ อุณหภูมิผิวหนังประมาณ 30 ถึง 35 °C ร่างกายแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นรังสีได้แดง หรืออินฟราเรดออกมาและรับรังสีความร้อนที่แผ่จากผิวของวัตถุต่าง ๆ ที่มีภูมิสูงกว่าค่าประมาณการ ถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความเป็นต่างและสภาพแวดล้อมเมื่อสวมเสื้อผ้าปกปิดขึ้นเดียว

2.2.3 สมการสมดุลความร้อน คือ สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนสะสมในร่างกายกับการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งความร้อน 2 แหล่ง คือความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารและ ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมการทำงานแสดงได้

$$H = M \pm R \pm C - E \pm D$$

กล่าวคือในสภาวะที่ร่างกายปกติไม่เจ็บป่วยและสิ่งแวดล้อมเหมาะสมความร้อนสะสมในร่างกาย (H) มีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากับศูนย์ถ้า (H) มีค่ามากกว่าสูงแสดงว่าบุคคลมีความเสี่ยงด้านสุขภาพเนื่องจาก ความร้อนและถ้า (H) มีค่าต่ำกว่าสูงหรือมีค่าเป็นลบหมายความว่าร่างกายสูญเสียความร้อนและบุคคล อาจมีความเสี่ยงด้านสุขภาพเนื่องจากความเย็น M ในสมการสมดุลความร้อนคือความร้อนจากการเผา ผลาญอาหารซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเปลี่ยนสารอาหารมาเป็นพลังงานมีค่าเป็นบวกเสมอแม้ในขณะ นอนหลับหรือนิ่งๆเพราะร่างกายต้องเผาผลาญอาหารเพื่อสร้างพลังงานในการดำรงชีวิตตลอดเวลา ความร้อนจากการนำ D การพา C และการแผ่รังสี R อาจมีค่าเป็นบวก เมื่อสิ่งแวดล้อมถ่ายเทความร้อน ให้กับร่างกาย หรือเป็นลบเมื่อร่างกายสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมสำหรับการระเหยของเหงื่อ (E) มีค่าเป็นส่วนลบเสมอ เนื่องจากความร้อนที่ผิวหนังถูกดึงไปใช้ในการระเหยของเหงื่อ (น้ำ) ทำให้อุณหภูมิ ผิวหนังลดลงและอุณหภูมิในร่างกายลดลงด้วย หากเหงื่อไม่ระเหย เช่น ขณะสวมเสื้อผ้าที่ขัดขวางการ ระเหยของเหงื่อ หรือความดันไอน้ำในอากาศสูงมาก ทำให้ค่า (E) เท่ากับศูนย์ ขณะที่การถ่ายเทความร้อน จากสิ่งแวดล้อมมายังร่างกายของผู้ปฏิบัติงานโดยการนำ (D) เกิดขึ้นได้เมื่อมีส่วนร่วมของร่างกายสัมผัสกับ วัตถุร้อนโดยตรง เช่น ผู้ปฏิบัติงานต้องนั่ง ยืน หรือพิงกับพื้นผิวที่มีอุณหภูมิผิวหนัง มีโอกาสเกิดขึ้น ก่อนข้างน้อย จึงตัดออกจากสมการสมดุลความร้อน

$$H = M \pm R \pm C - E$$

และเนื่องจากจากในสภาวะปกติความร้อนสะสมในร่างกาย (H) มีค่าใกล้เคียงศูนย์ สมการสมดุลความร้อนจึงอาจปรับใหม่ได้ ซึ่งคงเหลือเฉพาะตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญในการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเนื่องจากความร้อน ซึ่งจะได้กล่าวถึงตัวแปรเหล่านั้นต่อไป

$$E = M \pm R \pm C$$

2.2.4 การระเหย (Evaporation, E) อากาศที่อยู่รอบ ๆ ผิวของวัตถุเปียกย่อมอึดตัวด้วยไอน้ำเนื่องจากไอน้ำแพร่จากผิววัตถุสู่บรรยากาศรอบ ๆ ตลอดเวลา โดยความร้อนที่ผิวของวัตถุประมาณ 0.674 วัตต์-ชั่วโมง ถูกดึงมาใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ 1 กรัมให้กลายเป็นไอน้ำ นั่นคือ การระเหยเหงื่อหนึ่งองจึงทำให้ผิวของวัตถุ/ผิวหนังเย็นลง และความร้อนในร่างกายลดลงด้วย ถ้าผิวหนังทั้งหมดเปียกชุ่มด้วยเหงื่อการระเหยเหงื่อสูงสุด (E_{max}) ตามธรรมชาติขึ้นกับการเคลื่อนที่ของอากาศรอบ ๆ (ความเร็วลม) และค่าต่างระหว่างความดันไอน้ำในอากาศและบนผิวหนังเปียก

2.2.5 การเผาผลาญอาหารหรือเมแทบอลิซึม (Metabolism) เป็นกระบวนการทางเคมีซึ่งผลิตพลังงานเพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ ของร่างกาย ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ พลังงานส่วนที่หนึ่งใช้เพื่อทำงานและพลังงานอีกส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นความร้อน เนื่องจากโดยจากปกติพลังงานที่กล้ามเนื้อใช้ในการทำงานนั้นน้อยมาก ดังนั้น การประเมินความเสี่ยงจากการทำงานภาคอุตสาหกรรมทั่วไปจึงถือว่าพลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหารทั้งหมดขณะทำงานเท่ากับความร้อนที่เกิด ดังนั้น ในการประมาณอัตราการเผาผลาญอาหารหรือภาระ (Work Load) จึงถือว่าอัตราการเกิดความร้อนในร่างกายเท่ากับอัตราการเผาผลาญอาหาร (ISO, 2004)

2.2.6 เสื้อผ้าที่สวมใส่ขณะทำงาน เป็นปัจจัยขัดขวางการถ่ายเทความร้อนของร่างกาย เสื้อผ้าปิดบังผิวหนังจากสิ่งแวดล้อมเพื่อป้องกันอันตรายทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ขณะเดียวกันเสื้อขัดขวางการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพา การแผ่รังสี และการระเหยของเหงื่อระหว่างผิวหนังจึงต้องปรับแก้ค่าการถ่ายเทความร้อนทั้งสามทางอันเนื่องมาจากเสื้อผ้า เมื่อสวมเสื้อผ้าเหล่านั้นแตกต่างไปจากเสื้อผ้าธรรมดาที่สวมใส่ปกติซึ่งเป็นเสื้อผ้าใช้ในการประมาณการถ่ายเทความร้อน โดยทั่วไปหมายถึงชุดที่ตัดจากผ้าฝ้ายชั้นเดียว ทั้งนี้ค่าปรับแก้ต้องสะท้อนชีวิต จำนวนชั้นหรือความหนา และสมบัติการยอมให้อากาศหรือไอน้ำแพร่หรือระเหยผ่านได้ โดยเปรียบเทียบกับเสื้อผ้าที่สวมใส่ปกตินี้ (วันที พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

2.3 การวัดปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสภาพปัญหาความร้อน

สภาพปัญหาความร้อน คือ ภาวะความร้อนสุทธิที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับจากการเผาผลาญอาหาร จากสิ่งแวดล้อม และเสื้อผ้า ซึ่งผลลัพธ์คือความร้อนสะสมในร่างกายและผลที่เกิดจากความพยายามของร่างกายในการควบคุมอุณหภูมิโดยการระบายความร้อนนี้ อาจนำไปสู่ความรู้สึกที่ไม่สบายกาย หรือเจ็บป่วย เหนื่อยล้า ตะคริว โรคกล้ามเนื้อ หรือ แม้แต่ถึงแก่ชีวิตได้ ถ้าไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิเกินได้ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อสภาพปัญหาความร้อนหรือการถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายและสิ่งแวดล้อมโดยการพา การแผ่รังสี และการระเหย ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ความชื้นในอากาศ และอุณหภูมิการแผ่รังสี เป็นต้น

2.3.1 อุณหภูมิอากาศ หมายถึง อุณหภูมิอากาศรอบๆตัวผู้ปฏิบัติงาน วัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา เรียกว่าเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง เทอร์โมมิเตอร์มีหลายชนิด ที่นิยมใช้ทั่วไปได้แก่ ชนิด

หลอดแก้วบรรจุของเหลว เช่น น้ำ หรือปรอท ชนิดเทอร์โมมิเตอร์คัปเปิล เทอร์มิสเตอร์ ไม่ว่าจะเลือกชนิดใด ต่างมีข้อควรระวัง คือ

- ช่วงการอ่านค่าของเทอร์โมมิเตอร์ต้องครอบคลุมอุณหภูมิอากาศที่ต้องการวัด
- ระยะเวลาที่วัดจะต้องยาวกว่าระยะเวลาที่เทอร์โมมิเตอร์ใช้ในการเสถียร
- ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ใกล้กับสิ่งที่ต้องการวัดมากที่สุด
- ภายใต้สภาวะที่มีการแผ่รังสี เช่น มีแสงอาทิตย์ส่องถึงมีเตาหลอมโลหะ ใต้หลังคาสังกะสีที่ร้อน ฯลฯ ต้องปิดกั้นกันเทอร์โมมิเตอร์ด้วยวัสดุ เช่น กระดาษขาว หรือแสงสะท้อนรังสีความร้อน เพื่อความร้อนจากการแผ่รังสีส่งมายังกระเปาะหรือเซนเซอร์ของเทอร์โมมิเตอร์

2.3.2 ความเร็วลมมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการระเหยของเหงื่อ วัดได้ด้วยเครื่องวัดความเร็วลม เช่น เวนแอนิเมเตอร์ (Vane Anemometers มีสองชนิดคือ Swinging และ Rotation)) และเทอร์โมแอนิเมเตอร์ (Thermo-Anemometers มีสองชนิดคือ Hot-Wire และ Heated Thermocouple Anemometers) การวัดค่าความเร็วลมในสถานที่ทำงานอย่างถูกต้องนั้นทำได้ยาก เนื่องจากความเร็วลมค่อนข้างต่ำและความแปรปรวนในแต่ละขณะและแต่ละพื้นที่สูง จึงควรเลือกใช้เครื่องมือที่มีความไวสูงและทำงานในช่วงที่ต้องการวัด โดยทั่วไปวัดด้วยเทอร์โมแอนิเมเตอร์ให้ค่าที่เชื่อถือได้และความไวถึง 0.05 เมตร/วินาที (10 ฟุต/วินาที) แต่ไม่สามารถบอกทิศทางลมได้แม่นยำ (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ Air Flow Anemometer
ที่มา: (COMCUBE, 2563)

2.3.3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) คือ ปริมาณความชื้นในอากาศหารด้วยความชื้นอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน หรือที่ถูกต้องกว่าคือ ความดันย่อยของไอน้ำในอากาศหารด้วยความดัน ไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน คูณด้วยร้อย หน่วยความชื้นสัมพัทธ์จึงเป็นร้อยละ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความชื้นสัมพัทธ์ คือ ไฮโกรมิเตอร์ (Hygrometer) โดยทั่วไป ‘ไฮโกรมิเตอร์’ หมายถึงเครื่องวัดความชื้น (ภาพที่ 2.2) ที่เป็นเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอ่านค่าความชื้นได้โดยตรง (ขณะที่ไฮโกรมิเตอร์ ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้งและเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก เรียกว่า ‘ไซโครมิเตอร์’ (Psychrometer)



ก



ข

ภาพที่ 2.2 ก. ไฮโกรมิเตอร์ ข. ไฮโครมิเตอร์
ที่มา: ก. (Thomann, 2563) และ ข. (EBAY, 2563)

ความชื้นในอากาศมีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ กล่าวคือ ถ้าความชื้นในอากาศต่ำ เหงื่อ (น้ำ) ระเหยขึ้นสู่อากาศได้มาก ความร้อนที่ผิวหนังถูกดึงไปใช้ในการระเหยของเหงื่อ อุณหภูมิผิวหนังจึงลดลง สิ่งบ่งชี้ความชื้นในอากาศต่ำคือ %RH ต่ำ และอุณหภูมิกระเปาะเปียกทั้งจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกธรรมชาติ (Natural Wet Bulb Thermometer) และเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกของไฮโครมิเตอร์ แตกต่างจากอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (อุณหภูมิอากาศ) มาก ทั้งนี้ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกของไฮโครมิเตอร์แตกต่างจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกธรรมชาติ คือ มีอากาศเคลื่อนที่ผ่านกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ด้วยความเร็ว โดยอากาศพัดลมหรือแรงเหวี่ยงให้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกเคลื่อนที่ผ่านอากาศ เรียกว่า แอสไพเรเตอร์และสลิคไฮโครมิเตอร์ตามลำดับ น้ำในผ้าหุ้มกระเปาะเปียกไฮโครมิเตอร์จึงระเหยได้มากกว่าทำให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ เมื่อตรวจวัดในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

2.3.4 อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน แหล่งของความร้อนจากการแผ่รังสีที่มีสองประเภทคือ แหล่งธรรมชาติ คือ ดวงอาทิตย์ และแหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น กระบวนการผลิตแก้ว เตาหลอมโลหะ ฯลฯ เครื่องมือที่ใช้ในการวัดความร้อนนี้ คือ เทอร์โมมิโกลบ ประกอบด้วย เทอร์มิเตอร์เสียบอยู่ในโลหะทรงกลมกลวงซึ่งทำจากโลหะที่นำความร้อนได้ดี ทาด้วยสีดำด้านซึ่งดูดกลืนรังสีความร้อนได้ดี โดยกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ตรงกึ่งกลางของโลหะทรงกลมนี้ (วันที พันธ์ประสิทธิ์, 2557)

2.4 ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อน

ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนอาจเป็นปัจจัยในสิ่งแวดล้อมเพียงค่าเดียว หรืออาจเป็นค่าที่คำนวณโดยรวมปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมดุลความร้อนในร่างกายไว้ในค่านี้ ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนถูกใช้ในการประเมินสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานและการทำนายผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่อร่างกาย เพื่อลดความเสี่ยงด้านสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน และใช้ในการกำหนดรูปแบบการทำงาน และเฝ้าระวังระดับความร้อนภายในร่างกายมิให้สูงเกินค่าที่เชื่อว่าปลอดภัยสำหรับคนส่วนใหญ่ เช่น 38 °C

ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนหลายชนิดถูกคิดค้นขึ้นและมีเพียงบางชนิดถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวาง ดัชนีส่วนใหญ่ใช้สมการสมดุลความร้อนเป็นหลักในการคิดค้นและบางดัชนีอาจใช้ผลจากความร้อนที่

แสดงออกทางสรีระวิทยา เช่น การหลั่งเหงื่อ ซึ่งดัชนีชนิดนี้นำมาใช้ได้เฉพาะ เมื่อเหงื่อสามารถระเหยได้เท่านั้น

ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนแบ่งเป็น 4 ประเภทตามหลักการและที่มา คือ

1. ดัชนีตรง (Direct Indices) ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก
2. ดัชนีจากหลักการหรือเหตุผล (Rational Indices)
3. ดัชนีจากการทดลองและสังเกต (Empirical Indices)
4. ดัชนีทางสรีระวิทยา (Physiological Monitoring) ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ในขณะทำงานและเมื่อพักผ่อน อุณหภูมิร่างกาย (อุณหภูมิแกน) อุณหภูมิผิวหนัง การขาดน้ำ

2.4.1 ดัชนีกระเปาะเปียกและโกลบ (Wet Bulb Globe Temperature Index; WBGT)

ดัชนี WBGT เป็นการประมาณค่าทางพีชคณิต มีแนวคิดมาจากดัชนีความสบายจึงมีข้อจำกัดเหมือนกัน ค่าที่ต้องวัด ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะแห้ง บ่งชี้อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิกระเปาะเปียก ธรรมชาติบ่งชี้อุณหภูมิผิวหนังเมื่อเหงื่อระเหยตามธรรมชาติ และอุณหภูมิโกลบ บ่งชี้อุณหภูมิจากการแผ่รังสีความร้อน ภาพที่ 2.3 แสดงเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามชนิดสำหรับตรวจวัดดัชนี WBGT



ภาพที่ 2.3 เครื่องมือตรวจวัด WBGT

ที่มา: (INNOVATIVE INSTRUMENT CO.,LTD., 2563)

การตรวจวัด WBGT อาจตรวจวัดได้ทั้งภายในอาคารหรือภายนอกอาคารที่ไม่มีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรง และภายนอกอาคารหรือกลางแจ้งในพื้นที่ที่มีผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งสมการที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

$$\text{WBGT (ในอาคาร)} = 0.7 t_{\text{nw}} + 0.3 t_g$$

$$\text{WBGT (นอกอาคาร)} = 0.7 t_{\text{nw}} + 0.2 t_g + 0.1 t_r$$

เมื่อ t_w = อุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ ($^{\circ}\text{C}$)

$t_g =$ อุณหภูมิโกลบ (°C)

$t_a =$ อุณหภูมิอากาศ (°C)

ดัชนี WBGT ได้รวมค่าความชื้นในอากาศและความเร็วลมไว้ใน t_w และในการคำนวณค่า WBGT ในอาคารซึ่งไม่มีความร้อนจากแสงอาทิตย์เข้ามาเกี่ยวข้องอุณหภูมิอากาศทั้งภายในและภายนอกโกลบเท่ากัน ดังนั้น ค่า t_g จึงรวมอุณหภูมิอากาศไว้ด้วยแล้ว t_a จึงไม่ปรากฏในสมการ อย่างไรก็ตาม ค่า t_a มีบทบาทอย่างยิ่งในการแปรผล

2.5 การตรวจวัด WBGT ในสถานที่ทำงาน

2.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ตรวจวัด WBGT ประกอบด้วยเทอร์โมมิเตอร์ 3 ชนิด คือ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง และเทอร์โมมิเตอร์โกลบ ISO ได้กำหนดลักษณะสมบัติของเครื่องมือสำหรับตรวจวัดดัชนี WBGT ดังนี้

2.5.1.1 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกธรรมชาติ

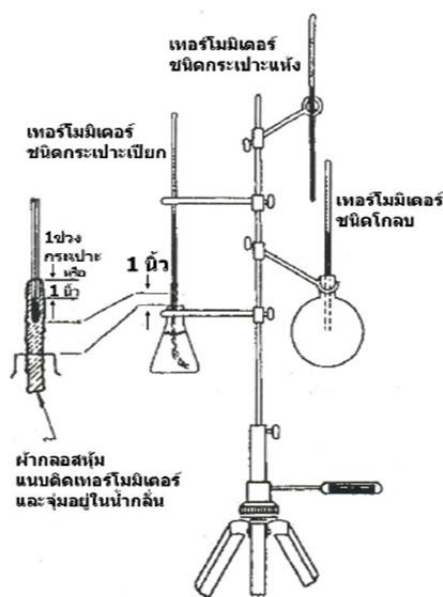
- 1) รูปร่างของกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ หรือเซนเซอร์ (sensor) เป็นทรงกระบอก
- 2) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของกระเปาะ 6 ± 1 มิลลิเมตร
- 3) ความยาวของกระเปาะ 30 ± 5 มิลลิเมตร
- 4) ช่วงอุณหภูมิที่อ่านค่าได้ $5 - 40$ °C
- 5) ความแม่นยำในช่วงที่อ่านค่าได้ ± 0.5 °C
- 6) กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ทั้งหมดต้องคลุมด้วยผ้าสีขาวที่อุ้มน้ำได้ดี เช่น ผ้าฝ้าย ผ้าที่ต้องคลุมสูงเหนือกระเปาะขึ้นไป 20 มิลลิเมตร เพื่อลดการนำความร้อนมายังกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์
- 7) ผ้า ต้องสะอาดและควรมีรูปร่างเป็นปลอกสามารถสวมคลุมกระเปาะได้พอดีไม่แน่นหรือหลวมเกินไปเพราะจะมีผลต่อความแม่นยำในการจัดปลายอีกด้านหนึ่งของผ้าฝ้ายต้องจุ่มในน้ำกลั่นเพื่อให้ผ้าส่วนที่คลุมกระเปาะเปียกตลอดเวลา ปลายของกระเปาะต้องห่างจากปากภาชนะบรรจุน้ำประมาณ 20 - 30 มิลลิเมตร เพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านผ้าเปียกส่วนที่หุ้มกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ได้สะดวก
- 8) ภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ควรมีลักษณะที่สะท้อนความร้อนจากการแผ่รังสีได้ดี เพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อนในสิ่งแวดล้อมมายังน้ำ เช่น ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร บรรจุในถุงผ้าสีขาว หรือห่อหุ้มด้วยกระดาษสีขาว

2.5.1.2 เทอร์โมมิเตอร์โกลบ (Globe Thermometer) ประกอบด้วยโกลบซึ่งเป็นโลหะทรงกลมกลวง และเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ โดยกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์อยู่ตรงกึ่งกลางโกลบ มีลักษณะดังต่อไปนี้

- 1) โกลบทรงกลมกลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร ทำด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.95 ความหนาของวัสดุบางที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ผิวภายนอก m ด้วยสีดำด้าน
- 2) เทอร์โมมิเตอร์มีช่วงอุณหภูมิที่อ่านค่าได้เท่ากับ $20 - 120$ °C ค่าความแม่นยำของอุณหภูมิ $20 - 50$ °C เท่ากับ ± 0.5 °C และของอุณหภูมิ $50 - 120$ °C เท่ากับ ± 1 °C

2.5.1.3 เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง (Dry Bulb Thermometer) คือ เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ มีลักษณะภายนอกเช่นเดียวกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และมีช่วงอุณหภูมิที่อ่านค่าได้ระหว่าง $10 - 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ หรือดีกว่าในขณะที่ตรวจวัดต้องกันไม่ให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีของแหล่งโดยตรงโดยใช้กระดาษสีขาวหรือแผ่นอลูมิเนียม หรืออลูมิเนียมฉาบบนด้านหนึ่งของกระดาษขาวปิดกั้นระหว่างกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์และแหล่งความร้อน ทั้งนี้ วัสดุดังกล่าวต้องไม่กีดขวางการไหลเวียนของอากาศรอบๆ กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์

ในปัจจุบันมีผู้ผลิตเครื่องมือตรวจวัด WBGT ชนิดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งใช้งานได้ง่ายแสดงผลการตรวจวัดของเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามและค่า WBGT ได้ทันทีไม่เสียเวลาคำนวณ มีขนาดกะทัดรัดเคลื่อนย้ายได้สะดวกผู้ผลิตเครื่องมือบางรุ่นได้ย่อส่วนของอุปกรณ์ทั้งหมดให้มีขนาดเล็กลง โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลหรือเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งมีขนาดเล็กเป็นเซนเซอร์แทนเทอร์โมมิเตอร์ชนิดบรรจุของเหลวและลดขนาดโกลบให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงเหลือเพียง 5 หรือ 10 เซนติเมตร ผู้ใช้เครื่องมือต้องศึกษาสมรรถนะของเครื่องมือโดยละเอียดก่อนใช้งาน หากอุปกรณ์เหล่านี้มีสมรรถนะที่สอดคล้องและอ่านค่าในช่วงที่กำหนดได้แม่นยำตามที่ระบุ และได้เปรียบเทียบความถูกต้องของเซนเซอร์รวมทั้งมิเตอร์ของเครื่องมือและปฏิบัติตามขั้นตอนการใช้เครื่องมือที่ผู้ผลิตกำหนด ย่อมใช้ตรวจวัด WBGT ได้เช่นกัน (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 เครื่องมือตรวจวัด WBGT

ที่มา: (กระทรวงแรงงาน, 2549)

2.5.2 การติดตั้งอุปกรณ์

ในสถานที่ทำงานอาจมีแหล่งความร้อนเพียงหนึ่งหรือหลายแหล่งซึ่งอาจทำให้ความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานกระจายอย่างสม่ำเสมอเท่าเทียมหรือแตกต่างกันในแต่ละระดับความสูงจากพื้น ขณะที่ส่วนต่างๆของร่างกายมีความไวต่อความร้อนแตกต่างกัน ดังนั้น การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อตรวจวัด WBGT จึงทำได้สองวิธีตามลักษณะการกระจายความร้อน คือ

2.5.2.1 การตรวจวัด WBGT ในสิ่งแวดล้อมที่ความร้อนกระจายสม่ำเสมอ ให้ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง สามกับขาตั้ง โดยให้กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามอยู่ระดับอกของผู้ปฏิบัติงาน ค่าที่ได้ นำมาคำนวณ (ภาพที่ 2.5) สำหรับการตรวจวัดภายในอาคารหรือนอกอาคารที่ไม่มีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรง และสมการ สำหรับการตรวจวัดภายนอกอาคาร

2.5.2.2 การตรวจวัด WBGT ในสภาพแวดล้อมที่ความร้อนกระจายไม่สม่ำเสมอ ควรทำการวัดความร้อนที่สามระดับ) คือระดับศีรษะ ท้อง และข้อเท้าของผู้ปฏิบัติงานในขณะยืนหรือนั่งตามสภาพการทำงานนั้นๆ และคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จากสามระดับนั้น ดังนี้

$$WBGT = \frac{(WBGT_{\text{ศีรษะ}}) + (2 \times WBGT_{\text{ท้อง}}) + (WBGT_{\text{ข้อเท้า}})}{4}$$

ถ้า WBGT ในแต่ละระดับมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 5% ถือว่าความร้อนกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีในกรณีนี้สามารถใช้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ระดับท้องเป็นค่า WBGT ของสภาพแวดล้อมนั้นๆได้ หากไม่มั่นใจว่าการตรวจวัดระดับความร้อนในสิ่งแวดล้อมสม่ำเสมอหรือไม่ ควรตรวจวัดทั้งสามระดับเพื่อความรวดเร็ว และถ้าจำเป็นต้องเลือกตรวจวัดเพียงระดับเดียวให้ตรวจวัดในระดับที่มีความร้อนสูงที่สุด ทั้งนี้ ต้องระบุเหตุผลไว้ในหมายเหตุในแบบประเมินผลด้วย อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดตามกฎหมายของกระทรวงแรงงานนั้นให้ถือว่าระดับความร้อนในสถานที่ทำงานสม่ำเสมอ (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)



ภาพที่ 2.5 การตรวจวัด WBGT ในโรงงานผลิตขวดแก้วแห่งหนึ่ง

2.5.3 การอ่านค่าและคำนวณ WBGT

เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ต้องใช้ระยะเวลาในการปรับให้เสถียรกับสิ่งแวดล้อมรอบๆ ระยะเวลาดังกล่าวเทียบเท่ากับช่วงเวลาในการตอบสนองของเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ และสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดมาตรฐานซึ่งใช้เทอร์โมมิเตอร์แก้วบรรจุของเหลวนั้น โดยทั่วไปเทอร์โมมิเตอร์โกลบใช้เวลาสำหรับเสถียรนานที่สุด ประมาณ 25 นาที ดังนั้น จึงต้องตั้งอุปกรณ์ไว้ที่จุดที่ต้องการตรวจวัดอย่างน้อย 25 นาที ก่อนการอ่านค่าหรือตามระยะเวลาที่ผู้ผลิตระบุซึ่งอาจแตกต่างกันในแต่ละรุ่นและแต่ละยี่ห้อ

นอกจากนั้นการตรวจวัดและบันทึกผลเพื่อคำนวณ WBGT ต้องดำเนินการในช่วงที่ร้อนที่สุดของปี คือในฤดูร้อน และช่วงที่ร้อนที่สุดของวันเช่นประมาณ 11.00 – 14.00 น. หรือในช่วงที่มีความร้อนจาก

กระบวนการผลิตมากที่สุดแม้จะไม่ใช่วินาทีที่ร้อนที่สุดของวัน เช่น ในสถานประกอบการที่จัดการปัญหาเรื่องความร้อนจากกระบวนการหลอมโลหะ โดยการจัดเวลาทำงานในกะกลางคืนเพื่อหลีกเลี่ยงความร้อนในช่วงกลางวัน ต้องตรวจวัดสภาพความร้อนในเวลากลางคืนด้วย และการอ่านและบันทึกผลการตรวจวัดต้องสอดคล้องกับลักษณะและระยะเวลาการทำงานด้วย ดังนี้

2.5.3.1 การทำงานต่อเนื่องในพื้นที่เดียวตลอด ในกรณีที่มีรูปแบบการทำงานปกติคือทำงานสลับกับการหยุดพักเป็นระยะๆ แนนอน (เช่น ทำงาน 45 นาที พัก 15 นาที) หรือทำงานต่อเนื่องค่า WBGT เฉลี่ยควรคำนวณในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง นั่นคือ $t_1 + t_2 + \dots + t_n = 60$ นาที

ตัวอย่างที่ 2.1 การคำนวณ WBGT

พนักงานตรวจสอบความสมบูรณ์ของแก๊วที่ออกจากเตาอบและเครื่องที่มาตามสายพาน โดยนั่งทำงานอยู่กับที่ตลอดเวลาทั้งวัน มีเวลาพักรับประทานอาหาร 40 นาที และพักเข้าห้องน้ำ 2 ครั้ง ช่วงเช้าและบ่าย ครั้งละประมาณ 10 นาที

เนื่องจากพนักงานทำงานประจำในพื้นที่เดียวและต่อเนื่องจึงตรวจวัด WBGT เฉพาะพื้นที่นั้น โดยตรวจวัดในช่วงที่คาดว่าจะร้อนที่สุดของวันคือ ช่วงเวลา 13.00 – 14.00 น. ทำการตรวจวัดโดยติดตั้งอุปกรณ์ หลังจากติดตั้งเครื่องมือแล้ว 25 นาที จึงอ่านค่าครั้งที่ 1 และอ่านค่าทุก 10 – 15 นาที ในช่วง 1 ชั่วโมงนั้น เพื่อป้องกันสุขภาพและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน จึงใช้ข้อมูลที่มีค่าสูงที่สุดในการคำนวณค่า WBGT

ค่าที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 3 คือ : $t_a = 33^{\circ}\text{C}$; $t_w = 27^{\circ}\text{C}$ และ $t_g = 37^{\circ}\text{C}$

$$\text{WBGT (ในอาคาร)} = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g$$

$$\text{WBGT} = 0.7(27) + 0.3(37) = 30^{\circ}\text{C}$$

ค่า WBGT เป็นดัชนีชี้สภาพปัญหาความร้อนโดยรวมซึ่งต้องพิจารณาร่วมกับอัตราการเผาผลาญอาหาร จึงจะบอกได้ว่าสภาพความร้อนนั้นเกินมาตรฐานหรือไม่ อย่างไรก็ตาม ในการแปลผลการตรวจวัดต้องวิเคราะห์อุณหภูมิทั้งหมดที่ตรวจวัด เพื่อนำไปสู่มาตรการควบคุมและป้องกันปัญหาที่ตรงจุดตรงประเด็น ดังนี้

อุณหภูมิกระเปาะเปียก t_w เป็นค่าที่แสดงถึงอุณหภูมิผิวหนัง พิจารณาโดยลำพังอาจไม่มีความหมายที่เป็นประโยชน์ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง t_a ซึ่งบ่งชี้อุณหภูมิอากาศ โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งสอง มีความหมายว่า เมื่อ t_w ต่ำกว่า t_a มากแสดงว่า เหงื่อสามารถระเหยได้ แต่ถ้า t_w มีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า t_a เพียงเล็กน้อย แสดงว่า เหงื่อระเหยได้ยากหรือไม่ระเหย ทั้งนี้ค่าสูงสุดของ t_w คือเท่ากับ t_a ไม่สามารถสูงกว่าได้ ดังนั้น ในที่นี้ t_w เท่ากับ 27°C ต่ำกว่า t_a ซึ่งเท่ากับ 33°C แปลว่า เหงื่อระเหยได้พอสมควร

เช่นเดียวกับอุณหภูมิโกลบ หากพิจารณาโดยลำพังไม่มีความหมาย ต้องพิจารณาร่วมกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ซึ่งมีความหมายคือ หากอุณหภูมิโกลบสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง แสดงว่ามีความร้อนจากการแผ่รังสี มากน้อยเพียงใดขึ้นกับค่าต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสอง และอุณหภูมิโกลบจะมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งไม่ได้ เมื่ออุณหภูมิโกลบเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง มีความหมายว่าไม่มีการแผ่รังสีความร้อนในจุดที่ตรวจวัดนั้น ในที่นี้ t_g เท่ากับ 37°C สูงกว่า t_a 4°C แสดงว่ามีการแผ่รังสีความร้อนในที่นี้ด้วย

2.5.4 การปรับค่า WBGT เนื่องจากเสื้อผ้าเนื่องจากเสื้อผ้าที่สวมใส่มิอาจป้องกันการระเหยของเหงื่อ ซึ่งเป็นกลไกที่สำคัญในการลดอุณหภูมิของร่างกาย ดัชนี WBGT กำหนดไว้สำหรับชุดทำงานปกตินั้นคือ เสื้อเชิ้ตแขนยาวและกางเกงขาสั้นที่ยอมให้เหงื่อระเหยผ่านได้ดี ดังนั้นถ้าผู้ปฏิบัติงานสวมเสื้อผ้าชนิดอื่นที่ยอมให้เหงื่อระเหยผ่านแตกต่างออกไปจึงต้องพิจารณาปรับค่า WBGT ให้เหมาะสม และเนื่องจากดัชนี WBGT อยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ที่ได้จากการสังเกตหรือประสบการณ์ไม่ใช่จากหลักการหรือเหตุผล จึงเป็นการยากที่จะผนวกความเป็นฉนวนและค่าการขัดขวางการระเหยเหงื่อของเสื้อผ้าในดัชนีโดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ จึงมีการศึกษาเพื่อ กำหนดค่าปรับแก้ดังกล่าวสำหรับเสื้อผ้าชนิดต่างๆรวมทั้งชุดป้องกันสารเคมีหลายการศึกษา ซึ่ง ACGIH ได้ทบทวนผลการศึกษาเหล่านี้ และพิจารณาประกาศไว้ใน TLV สรุปดังแสดงในตารางที่ 2.1 ทั้งนี้ ไม่ควรใช้ค่า TLV - WBGT ในกรณีที่ผู้ปฏิบัติงานสวมเสื้อผ้าชนิดอื่นนอกเหนือจากที่ระบุในตารางนี้และไม่มีข้อมูลสำหรับการปรับค่า WBGT

ตารางที่ 2.1 ACGIH แฟคเตอร์ปรับค่าสำหรับเสื้อผ้า (Clothing-Adjustment Factors)

ชนิดของเสื้อผ้า	ค่าปรับ WBGT (°C)
ชุดทำงานเสื้อเชิ้ตแขนยาวและกางเกง	0
ชุดหมี (Coveralls) ตัดจากผ้าทอ	0
ชุดผ้าทอ สองชั้น	3
ชุดปิดคลุมทั้งตัว SMS Polypropylene	0.5
ชุดปิดคลุมทั้งตัว Polyolefin	1
ชุดปิดคลุมทั้งตัวกันระเหย	11
ชุดหมี Tyvek 1424/1427	1
ชุดหมี NexGen	2
ชุดหมี Tychem QC	10

หมายเหตุ: ห้ามใช้ค่าเหล่านี้กับชุดที่ปิดคลุมทั้งตัวสำหรับป้องกันสารเคมีหรือชุดป้องกันระดับ a ไม่สามารถนำค่าแฟคเตอร์เหล่านี้บวกกันสำหรับการสวมใส่ชุดมากกว่าหนึ่งชั้นชุดที่สวมได้ชุดปิดคลุมทั้งตัวนั้นต้องเป็นชุดชั้นใน ไม่ใช่การสวมทับชุดอื่นกลายเป็นการสวมชุดสองชั้น

ที่มา: (วันที พันธ์ประสิทธิ์, 2557)

2.6 การคำนวณพลังงานที่ใช้ในการทำงานหรือภาระงาน

เนื่องจากกล้ามเนื้อใช้พลังงานที่ได้จากการเผาผลาญอาหารอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้พลังงานประมาณ 75 - 90% ถูกเปลี่ยนเป็นความร้อนสะสมในร่างกาย ดังนั้น ผู้ที่ทำงานหนักใช้พลังงานมากกว่าย่อมมีความร้อนเกิดขึ้นและสะสมในร่างกายสูงกว่าผู้ที่ทำงานเบา จึงกล่าวได้ว่า ความร้อนจากการเผาผลาญอาหารเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ร่างกายต้องระเหยเหงื่อเพื่อลดความร้อน ขณะที่การพาและการแผ่รังสีมีส่วนเพียงเล็กน้อย

ISO เสนอแนวทางการประมาณค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงานหรืออัตราการเผาผลาญอาหารโดยแบ่งเป็น 4 ระดับ คือ

- ระดับที่ 1 การคัดกรอง
- ระดับที่ 2 การสังเกต

- ระดับที่ 3 การวิเคราะห์ ซึ่งผู้ประมาณค่าต้องมีความรู้ทางอาชีวอนามัยและการยศาสตร์เกี่ยวกับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน โดยอัตราการเผาผลาญอาหาร คำนวณจากอัตราการเต้นของหัวใจ บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนที่ร่างกายใช้และอัตราการเต้นของหัวใจภายใต้สภาวะที่กำหนดเป็นวิธีการประเมินโดยอ้อม และ

- ระดับ 4 ระดับเชี่ยวชาญ ต้องใช้ทั้ง 3 วิธีที่กล่าวมาข้างต้น และการประเมินอัตราการเผาผลาญอาหารทำได้ทั้งโดยการวัดค่าโดยตรง คือการวัดปริมาณออกซิเจนที่บุคคลใช้ในขณะทำงานหนึ่งๆ และเปลี่ยนเป็นค่าพลังงาน กล่าวคือ ทุก 1 ลิตร ของออกซิเจนที่ใช้ไปทำให้เกิดพลังงานประมาณ 5 กิโลแคลอรี ดังนั้น ถ้างานหนึ่งใช้ออกซิเจน 1 ลิตรต่อนาที อัตราการเผาผลาญ คือ 5 กิโลแคลอรี/นาที เท่ากับ 300 กิโลแคลอรี/นาที่ หรือ 350 วัตต์ ซึ่งการวัดค่าต่างๆต้องทำโดยผู้เชี่ยวชาญ

ทั้งนี้ ความถูกต้องแม่นยำ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารเพิ่มขึ้นตามระดับของวิธีที่ใช้ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปวิธีในระดับ 1 และ 2 เพียงพอสำหรับการประเมินความเสี่ยงเนื่องจากความร้อนในการทำงานปกติของนักอาชีวอนามัย ขณะที่การศึกษาวิจัยซึ่งต้องการความถูกต้องแม่นยำสูงควรใช้วิธีในระดับ 3 และ 4 ในที่นี้จึงนำเสนอเฉพาะระดับ 1 และ 2 เท่านั้น แต่ไม่ว่าจะประเมินด้วยวิธีใดใน 4 วิธีนี้ ต่างมีปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องแม่นยำในการประมาณค่าพลังงาน คือ

- ความแตกต่างระหว่างบุคคล

- ความแตกต่างของเครื่องมือที่ใช้ในการทำงาน กล่าวคือ และเป็นงานชนิดเดียวกันแต่เครื่องมือบางชนิดผ่อนแรงได้มากกว่า เช่น การตัดโลหะด้วยเครื่องจักรไฮดรอลิกกับการตัดด้วยเครื่องจักรที่ใช้แรงกล

- ความแตกต่างของอัตราความเร็วในการทำงาน เทคนิคและความชำนาญในการทำงาน

- ความแตกต่างทางเพศและลักษณะสัดส่วนของร่างกาย วัฒนธรรม

- ความแตกต่างของผู้สังเกตงานและระดับการฝึกอบรมของบุคคลนั้น เมื่อใช้ค่าในตาราง

ถ้าใช้วิธีในระดับ 3 ความถูกต้องแม่นยำของความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายใช้อาจถูกกระทบ เนื่องจากมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเต้นของหัวใจด้วย และวิธีที่ 4 จะถูกต้องแม่นยำเพียงใดขึ้นกับการวัดที่ถูกต้อง

2.6.1 การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารระดับคัดกรอง เป็นการประมาณเบื้องต้นแบบหยาบๆมี 2 วิธีได้แก่

1) การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารโดยพิจารณาจากอาชีพ เนื่องจากผู้ที่มีอาชีพเดียวกันโดยทั่วไปมีกิจกรรมการทำงานเหมือนกัน จึงควรมีอัตราการเผาผลาญอาหารใกล้เคียงกัน แต่เนื่องจากความแตกต่างของเทคโนโลยีที่ใช้ ชิ้นงาน ความเร็ว เล็กการจัดการงาน ฯลฯ ทำให้อัตราการเผาผลาญอาหารแตกต่างกันได้บ้าง ดังนั้น ค่าเฉลี่ยอัตราการเผาผลาญอาหารตลอดระยะเวลาการทำงานสำหรับอาชีพและกิจกรรมต่างๆ ในอาชีพเหล่านั้น โดยไม่พิจารณาช่วงพักยาวๆ เช่น พักรับประทานอาหารกลางวัน ในตารางที่ 2.2 จึงเป็นค่าช่วง คือ ค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด ผู้ประมาณค่าต้องใช้ดุลยพินิจในการเลือกค่าที่เหมาะสม

ตารางที่ 2.2 อัตราการเผาผลาญอาหารเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงานพิจารณาตามอาชีพ

อาชีพ		อัตราการเผาผลาญอาหาร		
		(วัตต์/ม ²)	วัตต์*	กิโลแคลอรี/ชม.
งานสำนักงาน	นั่งทำงานกับที่	55-65	88-104	75.6-89.4
	งานเสมียน	65-100	104-160	89.4-137.6
	งานทำความสะอาด	80-115	128-184	110.1-158.2
ช่างฝีมือ	ก่ออิฐ	110-160	176-256	151.3-220.1
	ช่างไม้	110-175	176-280	151.3-240.8
	ช่างติดกระจก	90-125	114-200	123.8-172.0
	ช่างสี	100-130	160-208	137.6-178.8
	คนทำขนมปัง	110-140	176-224	151.3-192.6
	คนขายเนื้อ	105-140	168-224	144.4-192.6
	ช่างซ่อมนาฬิกา	55-70	88-112	75.7-96.3
อุตสาหกรรมเหมือง	คนคุมเครื่องลากตึง	70-85	112-136	96.3-116.9
	คนฟันถ่านหิน	110	176	151.3
	คนคุมเตาถ่านหิน	115-175	184-280	158.2-240.8
อุตสาหกรรมเหล็ก & เหล็กกล้า	คนคุมเตาหลอม	170-220	272-352	233.9-302.7
	คนคุมเตาหลอมไฟฟ้า	125-145	200-232	172.0-199.5
	คนงานหล่อหลอมใช้มือ	140-240	224-384	192.6-330.2
	คนงานหล่อหลอมใช้เครื่องจักร	105-165	168-264	144.4-227.0
	คนงานโรงหล่อ	140-240	224-384	192.6-330.2
อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับเหล็กและโลหะ	ช่างตีเหล็ก	90-200	144-320	123.8-275.2
	ช่างเชื่อม	75-125	120-200	103.2-172.0
	ช่างกลึง	75-125	120-200	103.2-172.0
	คนคุมเครื่องเจาะ	80-140	128-224	110.1-192.6
	ช่างกลที่ทำงานละเอียดมาก	70-110	112-176	96.3-151.3

*พื้นที่ผิวหน้า = 1.6 ตารางเมตร

ที่มา: (วันทนีย์ พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

ตารางที่ 2.2 อัตราการเผาผลาญอาหารเฉลี่ยตลอดเวลาการทำงานพิจารณาตามอาชีพ (ต่อ)

อาชีพ		อัตราการเผาผลาญอาหาร		
		(วัตต์/ม ²)	วัตต์*	กิโลแคลอรี/ชม.
อาชีพเกี่ยวกับการ วาด / เขียนภาพ	คน จั ด ว า ง	70-95	112-152	96.3-130.7
	องค์ประกอบด้วยมือ			
	คนเย็บเข้าเล่มหนังสือ	75-100	120-160	103.2-137.6
เกษตรกรรม	คนทำสวน	115-190	184-304	158.2-126.4
	คนขับแทรกเตอร์	85-110	136-176	116.9-151.3
	คนขับรถ	70-100	112-160	96.3-137.6
ขนส่ง คมนาคม	คนขับรถ	70-100	112-160	96.3-137.6
	คนขับรถบัส	75-125	120-200	103.2-172.0
	คนควบคุมเครน	65-145	104-232	89.4-199.5
อาชีพอื่นๆ	ผู้ช่วยในห้องแล็บ	85-100	136-160	116.9-137.6
	ครู	85-100	136-160	116.9-137.6
	ผู้ช่วยในร้านขายของ	100-120	160-192	137.6-165.1
	เลขานุการ	70-85	112-136	96.3-116.9

*พื้นที่ผิวหนัง = 1.6 ตารางเมตร

ที่มา: (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

2) การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารจากกลุ่มของงานหรือกิจกรรม โดยการจัดกลุ่มงาน/กิจกรรมตามอัตราการเผาผลาญอาหาร ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ พัก ต่ำ ปานกลาง สูง และสูงมาก พิจารณาจากค่าใน ตารางที่ 2.3 ซึ่งให้ทั้งค่าเฉลี่ยและค่าสูงสุด/ต่ำสุด ค่าในตารางนี้ได้รวมการพักระยะสั้นๆด้วยแล้วโดยใช้ค่าทั้งในหน่วยวัตต์/ตารางเมตรและวัตต์ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ผิวหนัง 1.6 ตารางเมตร และเช่นเดียวกับการประมาณค่าโดยพิจารณาจากอาชีพ ค่าในตารางจึงแสดงทั้งค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุด เพื่อให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมและกิจกรรมในสถานประกอบการต่างๆ มีมากมายไม่สามารถครอบคลุมทั้งหมดได้ค่าในตารางที่ 2.3 เป็นเพียงตัวอย่าง ดังนั้น หากกิจกรรมที่ต้องการประเมินไม่ปรากฏในตารางให้พิจารณาใช้ค่าของกิจกรรมที่มีลักษณะและภาระงานใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยและค่าช่วงอัตราการเผาผลาญอาหารแบ่งตามระดับภาระงาน

อัตราการเผาผลาญอาหารเฉลี่ย (ค่า			ตัวอย่าง
ระดับ	ต่ำ-ค่าสูง) (W/m ²)	(w)*	
0 - พักผ่อน	65 (5-70)	105 (90-115)	พักผ่อน-นอนหรือนั่งนิ่งๆ
1 - ต่ำ	100 (70-130)	160 (115-210)	งานเบา: -ทำงานเบาด้วยมือ เช่น เขียนหนังสือ พิมพ์งาน วาดภาพ เย็บผ้า ตัดผ้าโดยใช้มือหรือจักร จัดเก็บหนังสือ -ทำงานด้วยมือและแขน เช่น ใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือขนาดเล็ก ตรวจตราหรือตรวจสอบวัสดุประกอบหรือคัดแยกวัตถุดิบขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ซ่อมรองเท้า งานแม่บ้านโรงแรมประเภทเปลี่ยนผ้าปูที่นอน - ทำงานด้วยแขนและขา เช่น ขับรถในสภาพถนนปกติ ควบคุมเครื่องจักรด้วยเท้า ยืนถ่ายเอกสาร ยืนเจาะชิ้นงานขนาดเล็ก บดชิ้นงานขนาดเล็ก ใช้เครื่องมือขนาดเล็กหมุนขวดหลอด ใส่หรือกลิ้งชิ้นงานด้วยเครื่องมือพลังงานต่ำ เดินสบายๆ (ด้วยความเร็วไม่เกิน 2.5 กม./ชม.)
2 – ปานกลาง	165 (130-200)	265 (210-320)	งานปานกลาง: -การทำงานด้วยมือและแขนต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ เช่น ใช้ค้อน ตอกตะปู ยาแนว (หลังคา) -ทำงานด้วยแขนและขา เช่น ขับรถบรรทุกแทรกเตอร์ ขับรถบนทางวิบากหรือควบคุมเครื่องจักรสำหรับการก่อสร้าง ตีเหล็ก งานช่างไม้ทั่วไป ขับรถแทรกเตอร์เก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร -ทำงานใช้แขนและลำตัว เช่น ทำงานกับค้อนลมประกอบรถแทรกเตอร์ ฉาบปูน ขนย้ายสิ่งของหนักปานกลางเป็นช่วงๆ ขุดหลุม ดายหญ้า เก็บผักผลไม้ ดึงหรือดันรถเข็นน้ำหนักเบา เดินด้วยความเร็ว 3.5 กม./ชม.ถึง 5.5 กม./ชม. -งานเชื่อมโลหะทั่วไป งานขุดดินที่ใช้แรงน้อยกว่า 4.5 กก./นาที่ งานขับรถบรรทุกที่ต้องมีการยืนเพื่อต่อตัวรถพ่วง งานเดินและเข็นรถออกแรงโดยการผลัก งานแม่บ้านโรงแรม ดัดฟัน ล้างอ่าง

*พื้นที่ผิวหน้า = 1.6 ตารางเมตร

ที่มา: (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยและค่าช่วงอัตราการเผาผลาญอาหารแบ่งตามระดับภาระงาน (ต่อ)

อัตราการใช้พลังงาน (ค่า)	ตัวอย่าง	
	ต่ำ-ค่าสูง) (W/m ²)	(w)*
3 – สูง	230 (200-260)	370 (320-420)
	งานหนัก: -ทำงานด้วยแขนและลำตัวโดยออกแรงมากขึ้น เช่น ยกของหนักๆ งานแซะตัด ทำงานด้วยค้อนปอนด์ เลื่อยไม้ ชัดหรือแกะสลักไม้ เนื้อแข็ง ตัดหญ้าด้วยมือ ขุดดินที่ใช้แรง 4.5 กก./นาที่ เดินด้วยความเร็ว 5.5 – 7 กม./ชม. -ทำงานด้วยแขน ขาและลำตัว ดึงหรือดันรถเข็นที่มีน้ำหนักมาก จัดวางแท่งคอนกรีต ตัดเหล็กหล่อเป็นชิ้นเล็กๆ งานซ่อม-สร้าง ถนน การใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องเจาะถนน งานก่ออิฐ ผนัง คอนกรีต	
4 – สูงมาก	290 (>260)	465 (>420)
	งานหนักมาก: -ทำงานออกแรงมากด้วยความเร็วมาก เช่น ทำงานใช้ขวาน ตัก หรือขุดออกแรงมาก -ปีนบันได สิ่งกีดขวางหรือบันไดลง เดินชอยเท้าเร็วๆ วิ่ง เดินด้วยความเร็วมากกว่า 7 กม./ชม. งานเหมืองถ่านหินประเภทเจาะหรือขุด งานของพนักงานดับเพลิงที่ต้องมีการปีนบันได งานขุดดินที่ใช้แรงมากกว่า 7.2 กก./นาที่ งานขนย้ายเศษเหล็ก	

*พื้นที่ผิวหนัง = 1.6 ตารางเมตร

ที่มา: (วันทนี พันธุ์ประสิทธิ์, 2557)

2.6.2 การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารโดยการสังเกต

ผู้ที่ประมาณค่าด้วยวิธีนี้ควรมีความรู้เกี่ยวกับสภาพการทำงานอย่างดี แต่ไม่จำเป็นต้องได้รับการอบรมเรื่องการยศาสตร์ เพื่อสังเกตสภาพการทำงานและประมาณค่าอัตราการเผาผลาญโดยเฉลี่ยในระยะเวลาหนึ่งๆ ซึ่งวิธี 2 วิธี คือ การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมที่พบบ่อยๆ และสำหรับงานที่เป็นรอบๆ ทั้งนี้ สิ่งที่ต้องเฝ้าสังเกตรวมถึง

-ส่วนของร่างกายที่เกี่ยวข้องกับงาน เช่นมือทั้งสองข้าง แขนข้างเดียว แขนทั้งสองข้าง ร่างกายทั้งหมด

-การออกแรงของร่างกายแต่ละคนส่วน โดยพิจารณาเป็น 3 ระดับ คือ เบา ปานกลางหรือหนัก

-ท่าทางขณะทำงาน เช่น นั่ง ก้ม คุกเข้า ยืนหรือยืนก้มตัว

-ความเร็วในการทำงาน

ค่าอัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมที่พบบ่อยๆ แสดงในตารางที่ 2.4 รวบรวมมาจากการศึกษาในอดีตจากห้องปฏิบัติการต่างๆหลายแห่งโดย ISO และตารางที่ 2.5 คือ ค่าปรับแก้เมื่อไม่ได้นั่งทำงาน

1) การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมที่พบบ่อยๆ โดยการประมาณค่าจากงานที่ทำ อัตราการเผาผลาญอาหารขั้นต่ำที่ต้องการสำหรับการดำรงชีวิต ทำทางขณะทำงาน กิจกรรมและการเคลื่อนไหวด้วยความเร็วที่ระบุ เทียบเคียงจากค่าใน ตารางที่ 2.4 ซึ่งพิจารณาจากส่วนของร่างกายที่ใช้ในการทำงาน คือ มือทั้งสองข้าง แขนข้างเดียว แขนทั้งสองข้างและทั้งตัวและแบ่งภาระงานเป็นสามระดับ คือ เบาปานกลางและหนัก หากทำทางการทำงานแตกต่างไปจากการนั่ง ให้ใช้ค่าในตารางที่ 2.5 เพื่อปรับเพิ่มภาระงานด้วย เช่น ทำงานเบาด้วยมือสองข้างใช้พลังงาน 70 วัตต์/ตารางเมตร ถ้ายืนทำงานดังกล่าวต้องบวกค่าอัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับการยืน 15 วัตต์/ตารางเมตรด้วย รวมใช้พลังงานเท่ากับ 75 วัตต์/ตารางเมตรและตารางที่ 2.6 ให้ค่าอัตราการเผาผลาญอาหารเมื่อทำกิจกรรมที่พบบ่อยๆ เช่น นั่ง ยืน เดินบนทางราบ ทางชัน ทางลาด เป็นต้น

ตารางที่ 2.4 อัตราการเผาผลาญอาหารขณะนั่งทำงาน

ส่วนของร่างกาย		ความหนักของงาน (วัตต์/ม ²)		
		เบา	ปานกลาง	หนัก
มือสองข้าง	ค่าเฉลี่ย	70	85	95
	ค่าช่วง	<75	75-90	>90
แขนหนึ่งข้าง	ค่าเฉลี่ย	90	110	130
	ค่าช่วง	<100	100-120	>120
แขนสองข้าง	ค่าเฉลี่ย	120	140	160
	ค่าช่วง	<130	130-150	>150
ทั้งร่างกาย	ค่าเฉลี่ย	180	245	335
	ค่าช่วง	<210	210-285	>285

ที่มา: (ISO, 2004)

ตารางที่ 2.5 อัตราการเผาผลาญอาหารประมาณจากท่าทางขณะทำงาน

ท่าทาง	พลังงาน (วัตต์/ม ²)
นั่ง	0
คุกเข่า	10
หมอบหรือนั่งพับขาตนเอง	10
ยืน	15
ยืนก้มตัว	20

ที่มา: (ISO, 2004)

ตารางที่ 2.6 อัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ

กิจกรรม	วัตต์/ม ²
นอนหลับ	40
นอนเอนตัว	45
นั่งพัก	55
ยืนพัก	70
การเดินบนทางราบพื้นแข็ง	
1) ไม่แบกน้ำหนักด้วยความเร็ว 2 กม./ชม.	110
ด้วยความเร็ว 3 กม./ชม.	140
ด้วยความเร็ว 4 กม./ชม.	165
ด้วยความเร็ว 5 กม./ชม.	200
2) มีน้ำหนัก 10 กก. ด้วยความเร็ว 2 กม./ชม.	185
30 กก. ด้วยความเร็ว 2 กม./ชม.	250
เดินขึ้นเขา บนทางเรียบ แข็ง	
1) ไม่แบกน้ำหนัก ทางชัน 5° เร็ว 4 กม./ชม.	180
ทางชัน 15° เร็ว 3 กม./ชม.	210
ทางชัน 25° เร็ว 3 กม./ชม.	300
2) มีน้ำหนัก 20 กก. ทางชัน 15° เร็ว 4 กม./ชม.	270
25° เร็ว 3 กม./ชม.	410
เดินลงเขา เร็ว 5 กม./ชม. ไม่แบกน้ำหนัก ทางลาด 5°	135
ทางลาด 15°	140
ทางลาด 25°	180
ปีนบันไดชัน 70° ด้วยความเร็ว 11.2 ม./นาที	
ไม่แบกน้ำหนัก	290
มีน้ำหนัก 20 กก.	360
ต้นหรือลากรถลาก 3.6 กม./ชม. บนที่เรียบ แข็ง	
แรงผลัก 12 กก.	290
แรงดึง 16 กก.	375
เข็นรถเข็นสองล้อ ล้อยาง บนทางราบ 4.5 กม./ชม. ชนภาระ 100 กก.	230
งานช่างไม้ เลื่อยไม้ด้วยเลื่อยมือ	220
เลื่อยไม้ด้วยเครื่องจักร	100
ทำงานกับเครื่องจักร	
งานเบา (การปรับ การประกอบ)	100
งานปานกลาง	140
งานหนัก	210

ที่มา: (ISO, 2004)

ตารางที่ 2.6 อัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ (ต่อ)

กิจกรรม	วัตต์/ม ²
ทำงานกับเครื่องมือ	
งานเบา (การขีดเบาๆ)	100
งานปานกลาง (การขีด)	160
งานหนัก (การเจาะที่ออกแรงมาก)	230

ที่มา: (ISO, 2004)

2) การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับงานที่เป็นรอบ งานที่เป็นรอบหมายถึง งานที่ประกอบด้วยชุดของกิจกรรม ซึ่งต้องทำทุกกิจกรรมเหล่านั้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงาน วิธีการประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารที่เหมาะสม คือ การทำตารางกิจกรรมและประมาณอัตราการเผาผลาญอาหาร สำหรับกิจกรรมนั้นๆ จากตารางที่ 2.3 ถึงตารางที่ 2.5 ความถูกต้องแม่นยำในการประมาณ ขึ้นกับความละเอียดในการสังเกตและวิเคราะห์งานเพื่อรวบรวมกิจกรรมทั้งหมดที่ทำไว้ เทคนิคที่อาจนำมาใช้คือ การศึกษาเวลาและความเคลื่อนไหวในการทำงาน (Time and Motion Study) และเพื่อความสะดวกควรบันทึกกิจกรรมการเคลื่อนไหวและระยะเวลาในการทำแต่ละกิจกรรมลงในตารางที่เตรียมไว้ จากนั้นคำนวณอัตราการเผาผลาญอาหารโดยการถ่วงน้ำหนักเวลา (Time weighted average, TWA)

$$M = \frac{1}{T} \sum M_i T_i$$

เมื่อ M = อัตราการเผาผลาญอาหารเฉลี่ยในหนึ่งรอบการทำงาน (วัตต์/ม²)

M_i = อัตราการเผาผลาญอาหารสำหรับกิจกรรมที่ i (วัตต์/ม²)

t_i = ระยะเวลาในการทำกิจกรรม i (นาที)

T = ระยะเวลาในการทำงานหนึ่งรอบ ซึ่งเท่ากับระยะเวลาทำกิจกรรมรวมทั้งหมด (นาที)

ตัวอย่างที่ 2.3 การประมาณอัตราการเผาผลาญอาหาร

คนงานชายขนย้ายสินค้าหนัก 50 กิโลกรัม โดยไม่ใช้เครื่องผ่อนแรง จากรถบรรทุกเข้าไปเก็บในโกดัง ระยะทางประมาณ 30 เมตร ซึ่งเป็นทางราบ ใช้เวลาเที่ยวละประมาณ 2 นาที ในเวลา 1 ชั่วโมง ขนย้ายได้ 30 เที่ยว

- สมมติให้ระยะเวลา ในการเดินไป (มีน้ำหนัก) และกลับ (ไม่มีน้ำหนัก) เท่ากัน = 1 นาที
- ระยะทางรวมไปกลับ 60 เมตร ใช้เวลา = 2 นาที ฉะนั้น ความเร็วประมาณ 1.6 กิโลเมตร/

ชั่วโมง

- จากตารางที่ 2.6 การเดินบนทางราบพื้นแข็ง

- ไม่แบกน้ำหนักด้วยความเร็ว 2 กิโลเมตร/ชั่วโมง ใช้พลังงาน 110 วัตต์/ม²
- แบกน้ำหนัก 30 กิโลกรัม ด้วยความเร็ว 2 กิโลเมตร/ชั่วโมง ใช้พลังงาน 250 วัตต์/ม²

- จากข้อมูลข้างต้นประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหาร ดังนี้

- เดินไม่แบกน้ำหนักด้วยความเร็ว 1.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง ใช้พลังงาน 90 วัตต์/ม²

- แบนน้ำหนัก 50 กิโลกรัมด้วยความเร็ว 1.6 กิโลเมตร/ชั่วโมง ใช้พลังงาน 300 วัตต์/ม²

ที่	กิจกรรม/งาน	M _i (วัตต์/ม ²)	t _i (นาที)	รวม
1	เดินไม่แบกน้ำหนัก 30 เที้ยว/ชม.	90	30	2700
2	เดินแบกน้ำหนัก 30 เที้ยว/ชม.	300	30	9000
M = (2700+9000)/60 = 195 วัตต์/ม ² จากตารางที่ 2.3 จัดเป็นงานที่ใช้พลังงานปานกลาง				

ตัวอย่างที่ 2.4 จากโจทย์ในตัวอย่างที่ 2.2

เนื่องจากทำงานซ้ำ คือ ตักโลหะที่หลอมเหลวแล้วเทลงในเบ้าหล่อ ด้วยความถี่ 8 ครั้ง ในเวลา 20 นาที รูปแบบการทำงานและพัก คือ ทำ 20 นาที พัก 7 นาที สลับกันไปเรื่อย ดังนั้นใน 1 ชั่วโมง รวมทำงาน 46 นาที เทโลหะหลอมลงเบ้าได้ประมาณ 18 ครั้ง

สมมติให้น้ำหนักของโลหะและที่ตักหนัก 30 กิโลกรัม เทียบเคียงกับตัวอย่างภาระงานในตารางที่ 11.5 ‘ทำงานด้วยแขนและลำตัวโดยออกแรงมากขึ้น เช่น ยกของหนัก ๆ งานแซะตัก....’ อัตราการเผาผลาญอาหารอยู่ในระดับสูง 370 วัตต์

ในระหว่างยืนพักให้ใช้พลังงานประมาณ 110 วัตต์เนื่องจากไม่ใช้การนั่งนิ่งๆ หรือนอนพักจึงควรใช้ค่าสูงของระดับพักผ่อนในตารางที่ 2.3 และคำนวณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารเฉลี่ยในหนึ่งชั่วโมง

$$M = \frac{(370 \times 46) + (110 \times 4)}{60} = 309 \text{ วัตต์}$$

จัดเป็นอัตราการเผาผลาญอาหารระดับปานกลางเมื่อเทียบกับเกณฑ์ในตารางที่ 2.3 และจัดเป็นภาระงานปานกลาง สำหรับมาตรฐานของกระทรวงแรงงานประเทศไทย ของ OSHA และของ ACGIH

พิจารณาภาระงานที่คำนวณได้นี้ประกอบกับผลการประเมินสภาพแวดล้อมในตัวอย่างที่ 2.2 ซึ่งค่า WBGT เท่ากับ 32 °C โดยเปรียบกับมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนดหรือมาตรฐานแนะนำที่สถานประกอบการกำหนดใช้ต่อไป เพื่อประเมินความเสี่ยงเนื่องจากสภาพความร้อน เช่น กฎกระทรวงแรงงานประเทศไทยกำหนด WBGT สำหรับภาระงานปานกลางต้องไม่เกิน 32 °C ดังนั้นสภาพการทำงานนี้จึงไม่เกินมาตรฐาน

2.7 ค่ามาตรฐาน

การกำหนดมาตรฐานสำหรับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน เพื่อควบคุมระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานซึ่งเป็นผลจากความร้อนในสิ่งแวดล้อมและภาระงานนั้นอยู่บนพื้นฐานของผลการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ ซึ่งรวบรวมข้อมูลจากการสังเกต การทดลอง และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนในร่างกายและผลกระทบต่อสุขภาพในกลุ่มผู้ประกอบอาชีพบางกลุ่ม เช่น ทหาร คนทำงานในเหมืองและนักกีฬา ซึ่งผลการศึกษาเหล่านี้มีความสอดคล้องกัน คือ ระดับความรุนแรงของผลกระทบเพิ่มขึ้น เมื่อสภาพปัญหาความร้อนและระยะเวลาการสัมผัสความร้อนเพิ่มขึ้น

การกำหนดมาตรฐานความร้อนในสภาพแวดล้อมการทำงานของประเทศไทย ตามกฎกระทรวงแรงงานประเทศไทย ซึ่งโดยทั่วไปมาตรฐานสภาพแวดล้อมในการทำงานของประเทศไทยประยุกต์ใช้มาตรฐานต่างประเทศ โดยเฉพาะค่า PEL ของ OSHA ประเทศสหรัฐอเมริกา และค่า TLVs ของ ACGIH

เช่น มาตรฐานเรื่องเสียงและสารเคมี แต่สำหรับความร้อนนั้นคณะอนุกรรมการร่างได้พิจารณาเห็นว่าประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ค่ามาตรฐานของประเทศไทยในเขตหนาว ซึ่งกำหนดขึ้นโดยพิจารณาจากชายหนุ่มชาวอเมริกันหรือยุโรปสุขภาพแข็งแรง และโดยทั่วไปมีร่างกายขนาดใหญ่กว่าคนไทยจึงอาจไม่เหมาะสม ดังนั้นจึงได้พิจารณากำหนดมาตรฐานจากงานวิจัยภายในประเทศ โดยมีหลักการและพื้นฐานทางทฤษฎีเช่นเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น

กฎหมายควบคุมการทำงานในที่ร้อนของไทย ซึ่งประกาศบังคับใช้โดยกระทรวงแรงงานคือ กฎกระทรวง เรื่องกำหนดมาตรฐานการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่างและเสียง พ.ศ. 2559 มีเกณฑ์สำหรับสภาพแวดล้อมและภาระงานดังแสดงในตารางที่ 2.7 ทั้งนี้ งานเบา หมายถึง ลักษณะงานที่ใช้แรงน้อยหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายไม่เกิน 200 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง งานปานกลาง หมายถึง ลักษณะงานที่ใช้แรงปานกลางหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 200 - 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง และงานหนัก หมายถึง ลักษณะงานที่ใช้แรงมากหรือใช้กำลังงานที่ทำให้เกิดการเผาผลาญอาหารในร่างกายเกิน 350 กิโลแคลอรีต่อชั่วโมง โดยกำหนดวิธีการตรวจวัด และคำนวณ WBGT และการประมาณค่าอัตราการเผาผลาญอาหารไว้ในประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงานโดยให้ตรวจวัดสภาพความร้อนด้วยดัชนี WBGT เฉลี่ย 2 ชั่วโมง ตามแนวทางที่กล่าวมาข้างต้น และประเมินภาระงานเฉลี่ยในช่วงเวลาเดียวกันตามแนวทางของ OSHA

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานตามประกาศกระทรวงแรงงาน

ภาระงาน	ค่าเฉลี่ยดัชนี (°C)
งานเบา	34
งานปานกลาง	32
งานหนัก	30

ที่มา: (กระทรวงแรงงาน, 2561)

นอกจากนี้ในประกาศกรมสวัสดิการและการคุ้มครองแรงงานฉบับดังกล่าวยังได้กำหนดประเภทกิจการที่ต้องตรวจวัดสภาพความร้อนด้วย เช่น การผลิตน้ำตาลและทำให้บริสุทธิ์ การฟอกหรือย้อม การผลิตเยื่อกระดาษ ฯลฯ รวมถึงกิจการที่มีแหล่งกำเนิดความร้อนและมีการทำงานที่อาจทำให้ลูกจ้างได้รับอันตราย เนื่องจากความร้อน

2.8 การจัดการและควบคุมปัญหาสภาพความร้อน

การเลือกหรือกำหนดมาตรการในการจัดการและควบคุมปัญหาสภาพความร้อน ต้องสัมพันธ์กับระดับความเสี่ยง ซึ่งพิจารณาจากสภาพแวดล้อมและภาระงาน โดยเปรียบเทียบค่า WBGT ในสภาพแวดล้อมการทำงานกับค่ามาตรฐาน และ/หรือผลการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงการทำงานของร่างกาย เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณการขับเหงื่อ โดยทั่วไปมาตรการควบคุมมีดังนี้

2.8.1 มาตรการควบคุมทางวิศวกรรม การควบคุมสภาพแวดล้อมการทำงานและปริมาณงาน เพื่อป้องกันการสะสมความร้อนในร่างกายด้วยมาตรการทางวิศวกรรม ซึ่งพิจารณาจากการถ่ายเทความร้อนระหว่างผู้ปฏิบัติงานและสิ่งแวดล้อม และภาระงาน ได้ดังนี้

2.8.1.1 การควบคุมการถ่ายเทความร้อนจากการพา

จะเห็นว่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวหนึ่งกับสิ่งแวดล้อมโดยการพา คือ ค่าต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวหนึ่ง และความเร็วลม กล่าวคือ สำหรับปัจจัยแรก ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าผิวหนึ่ง (35°C) ความร้อนในสิ่งแวดล้อมถ่ายเทมาที่ร่างกาย แต่ถ้าอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าผิวหนึ่งร่างกายจะถ่ายเทความร้อนให้สิ่งแวดล้อม โดยอากาศที่สัมผัสผิวมีอุณหภูมิสูงขึ้นและความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศรอบๆ จึงลอยตัวขึ้น และอากาศรอบๆ ไหลมาแทนที่ เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ การแลกเปลี่ยนความร้อนนี้คือ การพาโดยอ้อม (Passive Convection) ซึ่งเกิดขึ้นช้าๆ แต่มีประสิทธิภาพสูง และเกิดขึ้นได้แม้ในที่ความเร็วลมต่ำมากๆ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเร็วลมทำให้เหงื่อระเหยเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อค่าต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวหนึ่งคงที่ เช่น เมื่อเพิ่มความเร็วลมจาก 2.2 เมตร/วินาที เป็น 2.7 เมตร/วินาที ทำให้อัตราการระเหยเหงื่อเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มความเร็วลมจาก 0.4 เมตร/วินาที เป็น 0.9 เมตร/วินาที ถึง 42.3%

มาตรการทางวิศวกรรมในการควบคุมความร้อนนี้ จึงทำได้โดยการปรับอุณหภูมิอากาศและความเร็วลม ถ้าอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าผิวหนึ่งอยู่แล้ว ให้เพิ่มความเร็วลมเพื่อเพิ่มอัตราการระบายความร้อนออกจากร่างกาย ซึ่งอาจทำได้โดยใช้พัดลมทำให้อากาศเคลื่อนที่และหมุนเวียน เช่น ในกรณีของตัวอย่างที่ 11.2 อุณหภูมิอากาศคือ 33°C ถ้าเพิ่มความเร็วลมผ่านผิวหนึ่งจะทำให้เหงื่อระเหยได้มากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงกว่าโดยนำอากาศจากภายนอกที่เย็นกว่ามาเจือจาง หรือใช้ระบบทำความเย็นและควบคุมความเร็วลมลงให้คงเหลือเพียงพอสำหรับการระเหยเหงื่อเท่านั้น

นอกจากนั้น การติดตั้งจุดเป่าอากาศเย็นเป็นจุดๆ (Spot Cooling) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้ผลดี โดยเฉพาะในโรงงานขนาดใหญ่ ซึ่งการติดตั้งระบบทำความเย็นทั้งโรงงานมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ตาม การเคลื่อนที่ของอากาศจากจุดเป่าอากาศเย็นนี้อาจรบกวนการทำงานของระบบระบายอากาศเฉพาะที่ได้ โดยการทำให้อากาศหน้าฮูดปั่นป่วนและปริมาณอากาศที่เคลื่อนเข้าสู่ฮูดได้

2.8.1.2 การควบคุมการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสี

การถ่ายเทความร้อนระหว่างร่างกายกับพื้นผิวร้อน เช่น เครื่องจักร กระบวนการผลิต ผนังเตาอบ ฯลฯ โดยการแผ่รังสีนั้น ขึ้นกับค่าต่างของอุณหภูมิผิวหนึ่งและอุณหภูมิการแผ่รังสีของพื้นผิวเหล่านั้น ดังนั้น มาตรการทางวิศวกรรมที่ควบคุมการถ่ายเทความร้อน คือ การลดการแผ่รังสีหรือการใช้กำบังกันระหว่างผู้ปฏิบัติงานและแหล่งแผ่รังสีความร้อน การลดการแผ่รังสีอาจทำได้โดยการ

- 1) ลดอุณหภูมิของกระบวนการผลิต ซึ่งโดยทั่วไปทำไม่ได้ หากกระทบการผลิตหรือคุณภาพของผลิตภัณฑ์
- 2) ย้ายหรือปิดกั้นแหล่งความร้อนที่แผ่รังสีออกจากบริเวณที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน หรืออาจทำงานในระยะห่างจากแหล่งความร้อน โดยใช้อุปกรณ์ช่วย เช่น ที่ค้ำจับหรือที่ตักซึ่งมีด้ามยาว ใช้สายพานลำเลียง ฯลฯ หรือติดตั้งประตูปิดเปิดแบบอัตโนมัติ
- 3) ตัดฉนวนความร้อนปิดคลุมแหล่งความร้อน
- 4) ติดตั้งวัสดุสะท้อนรังสีกลับเข้าหาแหล่งความร้อน หรือ
- 4) เปลี่ยนสภาพพื้นผิวของวัสดุให้สมบัติในการเปล่งรังสีความร้อนให้น้อยลง โดยการเคลือบผิววัตถุ

ทั้งนี้ ต้องบ่งชี้แหล่งความร้อนสำคัญที่แผ่รังสี และพิจารณาความเป็นไปได้สำหรับทางเลือกดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ระหว่างทางเลือกเหล่านี้ การติดตั้งวัสดุสะท้อนรังสีเป็นวิธีปฏิบัติได้ง่าย

ราคาไม่แพงและลดความร้อนตากการแผ่รังสีได้มากถึง 80-85% ดังนั้น หากเป็นไปได้และเหมาะสม กล่าวคือ วัสดุสะท้อนแสงที่ติดตั้งนั้นไม่กีดขวางการทำงาน

2.8.1.3 การควบคุมการถ่ายเทความร้อนจากการระเหยของเหงื่อ

อุณหภูมิผิวลดลง เมื่อเหงื่อระเหยออกมาจากผิวหนัง ทำให้อุณหภูมิร่างกายลดลงด้วย อัตราและปริมาณการระเหยของเหงื่อขึ้นกับความเร็วลมที่พัดผ่านผิวหนัง และค่าต่างระหว่างความดันไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิห้องและความดันไอน้ำที่ผิวหนังที่อุณหภูมิผิว (35 °C) ที่ค่าต่างระหว่างความดันไอน้ำในอากาศและผิวหนังใดๆ การระเหยของเหงื่อเพิ่มขึ้นเท่ากับความเร็วลมยกกำลัง 0.6 การระเหยเหงื่อในบริเวณที่ความเร็วลมต่ำเพิ่มขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการเพิ่มความเร็วลม เช่น การปรับปรุงการระบายอากาศให้มีอากาศไหลเวียนเพิ่มขึ้น ในที่ซึ่งมีความเร็วสูง เช่น 2.5 เมตร/วินาที หรือ 500 ฟุต/นาทีกการเพิ่มความเร็วลมไม่ช่วยให้การระเหยเหงื่อเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญ นอกเสียจากเสื้อผ้าที่สวมใส่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของอากาศเหนือผิวหนัง และการเพิ่มความเร็วลมนั้นทำให้อากาศเคลื่อนที่ผ่านเสื้อผ้าไปถึงผิวหนังได้มากขึ้น

ดังนั้น การควบคุมทางวิศวกรรมสำหรับการลดอุณหภูมิโดยการระเหยเหงื่อทำได้ใน 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 คือเพิ่มความเร็วลม วิธีการใช้พัดลมเป่าเป็นวิธีที่ง่ายและถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีการติดตั้งจุดเป่าอากาศเย็นอาจมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เนื่องจากอัตราการไหลอากาศต่ำกว่าจึงใช้พัดลมขนาดเล็กกว่า หรือแนวทางที่ 2 คือ ลดความดันไอน้ำในอากาศ มีความยุ่งยากและค่าใช้จ่ายสูงกว่า เนื่องจากต้องใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิและให้น้ำกลั่นตัวแยกออกมา โดยทั่วไปความดันไอน้ำในโรงงานมีค่าเท่ากับไอน้ำนอกโรงงาน และภายในโรงงานเองอาจมีแหล่งความชื้นด้วย เช่น กระบวนการผลิต การรั่วของไอน้ำผ่านวาล์ว พื้นเปียก ฯลฯ ดังนั้น ในการควบคุมความชื้นของอากาศจึงต้องควบคุมทั้งที่ไหลเวียนในโรงงานและที่นำเข้ามาในโรงงานโดยระบบปรับอากาศ

3.8.1.4 การใช้เครื่องฟั่นแรงหรือเครื่องจักรกล

ความร้อนสะสมในร่างกายส่วนใหญ่มาจากการเผาผลาญอาหารซึ่งสัมพันธ์กับภาระงานดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้น การลดภาระงานโดยการใช้อุปกรณ์แรงหรือเครื่องจักรทำงานแทน เช่น การใช้สายพานหรือรถยกขนส่งสิ่งของแทนการขนย้ายด้วยแรงคน จัดเป็นมาตรการทางวิศวกรรมที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบันด้วย

3.8.2 การบริหารจัดการ คือมาตรการควบคุมที่ฝ่ายจัดการเข้ามามีบทบาทหลัก ได้แก่

3.8.2.1 การอบรม ควรมีโปรแกรมการอบรมเป็นลายลักษณ์อักษร กำหนดเกณฑ์เพื่อคัดผู้ที่ต้องเข้ารับการอบรม เช่น ผู้ปฏิบัติงานในสภาพแวดล้อมที่ WBGT เท่ากับหรือสูงกว่า Action Limit หรือผู้ที่ต้องตรวจติดตามการทำงานของร่างกายในระหว่างสัมผัสความร้อน เช่น ผู้ปฏิบัติงานที่สวมชุดป้องกันสารเคมี ซึ่งขัดขวางการระเหยของเหงื่อ จัดทำแผนการอบรม รวมทั้งความถี่ในการอบรมซ้ำได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้ หัวข้อในการอบรมควรครอบคลุมอย่างน้อยในเรื่องต่อไปนี้

- 1) สภาพปัญหาความร้อนและการตอบสนองของร่างกาย
- 2) อาการและอาการแสดงของการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน รวมถึงการสังเกตอาการและอาการแสดงเนื่องจากการสัมผัสความร้อน และอันตรายของการใช้ยารักษาโรคบางชนิด ยาเสพติด และการดื่มแอลกอฮอล์ในระหว่างการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน

3) สุขวิทยาในการป้องกันอันตรายเนื่องจากความร้อน ซึ่งหมายถึงเรื่องสำหรับผู้ปฏิบัติงานแต่ละคนควรปฏิบัติเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยเนื่องจากความร้อน เช่น การดื่มน้ำเกลือแร่เพื่อชดเชย

น้ำและเกลือแร่ที่สูญเสียไปการเหงื่อ การดำเนินชีวิตในวิถีที่ดีต่อสุขภาพ การติดตามสถานะของสุขภาพ การหลีกเลี่ยงการทำงานที่ต้องสัมผัสความร้อนเมื่อป่วยเพราะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคลมร้อน การปรับภาระงานในระหว่างการปรับตัวเข้ากับการทำงานในสภาพความร้อน รวมถึงการสังเกตสีและปริมาณของปัสสาวะ และความรู้สึกในการปัสสาวะของตนเองในระหว่างวัน ซึ่งเป็นสิ่งบ่งชี้การขาดน้ำด้วย สิ่งต่างๆ เหล่านี้เป็นความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติงานเอง โดยมีหัวหน้างานให้การสนับสนุน

4) ขั้นตอนหรือวิธีขอความช่วยเหลือทางการแพทย์และ

5) ข้อมูลเกี่ยวกับการควบคุมเฉพาะสำหรับงานที่มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดอันตรายเนื่องจากความร้อน

2.8.2.2 การปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมการทำงานที่ร้อน การปรับตัวเข้ากับความร้อนเต็มที่ (100%) ใช้เวลาหลายสัปดาห์ แต่การปรับตัวประมาณ 2 ใน 3 อาจเกิดขึ้นภายใน 5 วัน และการปรับตัวเข้ากับความร้อนในระดับที่เหมาะสมเกิดขึ้นใน 9 วัน NIOSH แนะนำ 7-14 วัน สำหรับการปรับตัวเข้ากับความร้อน ผู้ปฏิบัติงานใหม่หรือคนที่ไม่คุ้นเคยกับการทำงานในที่ร้อนควรเริ่มทำงานในวันแรก 20% และเพิ่มขึ้นไม่เกิน 20% ในแต่ละวัน สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่เคยสัมผัสความร้อนแล้วหยุดทำงานไประยะหนึ่ง ต้องปรับตัวเข้ากับความร้อนใหม่ ทั้งนี้ การหยุดไม่ทำงานที่สัมผัสความร้อน 4 วันต่อเนื่องทำให้ความคุ้นเคยหายไปเทียบเท่ากับ 1 วัน นั่นคือ หากหยุดงานที่ต้องสัมผัสความร้อน 4 วันต่อเนื่องควรกลับเข้าสู่กระบวนการปรับตัวก่อน ไม่ควรเริ่มงานเต็มที่ในทันทีที่กลับมาทำงาน โดยเริ่มทำงานสัมผัสความร้อนประมาณ 50% ของการทำงานในวันแรก เพิ่มขึ้น 60% ในวันที่สอง 80% ในวันที่สาม และ 100% ในวันที่สี่ ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานและหัวหน้างานควรพิจารณาระยะเวลาการทำงานในระหว่างการปรับตัวเข้ากับความร้อนร่วมกัน

นอกจากนี้ ข้อควรตระหนักเกี่ยวกับการปรับตัวเข้ากับสภาพความร้อน คือ การปรับตัวยาวนานถึง 6-12 วัน ไม่ได้ช่วยให้สามารถทำงานได้หนักกว่า และไม่ได้ช่วยให้ทนทานได้ดีขึ้นเมื่อสวมชุดป้องกันสารเคมีซึ่งขัดขวางการระเหยเหงื่อ และการมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงสำหรับการทำงานนั้นๆ ไม่สามารถทดแทนการปรับตัวเข้ากับความร้อนได้ นั่นคือ ผู้ที่มีร่างกายแข็งแรงจำเป็นต้องปรับตัวเข้ากับความร้อนด้วยเช่นกัน และระยะเวลาในการปรับตัวอาจสั้นกว่า

2.8.2.3 การจัดหาเครื่องดื่มและเกลือแร่ การทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อนและหลังเหงื่อมากอาจทำให้ร่างกายขาดน้ำ แต่เนื่องจากความรู้สึกกระหายไม่ใช่สิ่งที่บ่งชี้การขาดน้ำที่ดี กล่าวคือ เมื่อรู้สึกกระหายร่างกายอาจขาดน้ำไประดับหนึ่งแล้ว การดื่มน้ำที่ละน้อยแต่บ่อยๆ จึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน และในขณะเดียวกันต้องชดเชยเกลือแร่ด้วย โดยเฉพาะโซเดียมและคลอไรด์ที่สูญเสียไปกับเหงื่อ ดังนั้น ควรจัดหาเครื่องดื่มอุณหภูมิประมาณ 10-15 °C ไว้ใกล้กับสถานที่ทำงานให้ผู้ปฏิบัติงานดื่ม และกระตุ้นให้ผู้ปฏิบัติงานดื่มน้ำที่ละน้อยและบ่อยๆ เช่น 1 แก้ว (ประมาณ 150 มล.) ทุกๆ 20 นาที ปริมาณน้ำที่ดื่มสัมพันธ์กับภาระงานและอุณหภูมิอากาศ หมายถึง ภาระหนักมากขึ้นหรืออุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ร่างกายต้องน้ำมากขึ้นด้วย และควรจัดหาเครื่องดื่มที่มีเกลือแร่เข้มข้น 0.1% (เกลือ 1 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร หรือเกลือ 1 ช้อนโต๊ะต่อน้ำ 14 ลิตร) ไว้สำหรับผู้ปฏิบัติงานที่ไม่คุ้นเคยกับความร้อนด้วย

2.8.2.4 การกำหนดเวลาการทำงาน การจัดการเกี่ยวกับเวลาทำงานมี 2 ลักษณะ คือ

1) การกำหนดตารางเวลาการทำงานที่เกี่ยวกับความร้อนไว้ในช่วงที่เย็นที่สุดของวัน สำหรับงานปกติ เช่น ช่วงเช้า หรือช่วงเย็น หรือกลางคืน และสำหรับงานที่ทำเป็นครั้งคราว เช่น การซ่อมบำรุงควรจัดตารางทำงานไว้ในฤดูหนาว

2) การกำหนดระยะเวลาทำงานและเวลาพักให้เหมาะสม ในขณะที่ทำงานหนักร่างกายไม่สามารถนำออกซิเจนไปใช้สร้างพลังงานได้ทันกับความต้องการ จึงสร้างพลังงานโดยไม่ใช้ออกซิเจนด้วย ทำให้มีกรดแลคติกสะสมในกล้ามเนื้อ จึงเกิดความเมื่อยล้า ดังนั้น ในช่วงพักร่างกายต้องการออกซิเจนไปสลายกรดแลคติก ดังนั้น การกำหนดระยะเวลาพักควรพิจารณาระยะเวลาที่ร่างกายฟื้นตัวด้วย การทำงานที่ภาระงานหนักกว่าควรมีระยะเวลาพักมากกว่า หรือพิจารณาผลการตรวจวัดอุณหภูมิในปาก และอัตราการเต้นของหัวใจ เพื่อกำหนดระยะเวลาทำงานและพัก หรือคำนวณจาก WBGT และ M และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน

2.8.2.5 การเฝ้าระวังทางการแพทย์ เนื่องจากปัจจัยหลายประการรวมทั้งสภาวะสุขภาพมีความสำคัญต่อการทนทานต่อสุขภาพความร้อน ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่ต้องสัมผัสความร้อนควรได้รับการตรวจร่างกายก่อนมอบหมายงานและตรวจเป็นเป็นระยะๆ ผู้ปฏิบัติงานที่ป่วยด้วยโรคเรื้อรังโดยเฉพาะที่มีอาการวิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้ อาเจียน หรือท้องร่วงควรรักษาอาการป่วยให้หายสนิทก่อนกลับมาทำงาน และหัวหน้างานต้องระมัดระวังการมอบหมายงานเมื่อผู้ปฏิบัติงานนั้นกลับมาทำงาน และให้มีระยะเวลาสำหรับการปรับตัวเข้ากับความร้อนด้วย เนื่องจากการทำงานที่สัมผัสความร้อนอาจเสี่ยงต่อโรคลมร้อน

2.8.2.6 เสื้อผ้าชุดทำงาน ในสภาพแวดล้อมที่การระเหยเหงื่อเกิดขึ้นได้ดี การสวมเสื้อผ้าที่ปิดคลุมผิวหนังน้อยอาจช่วยลดความร้อนในร่างกายโดยการระเหยเหงื่อได้ แต่ในกรณีที่มีความร้อนจากการแผ่รังสี ควรสวมเสื้อผ้าแขนยาวและกางเกงขายาวเพื่อป้องกันผิวหนังจากรังสีความร้อน วัสดุที่ใช้ในการตัดเย็บเสื้อผ้าที่สะท้อนรังสีได้หรือไม่ดูดซับรังสีความร้อนช่วยลดความร้อนสะสมในร่างกายได้ จึงควรพิจารณาเลือกวัสดุตัดเย็บเสื้อผ้าที่เหมาะสมสำหรับการทำงานในพื้นที่หรือกระบวนการผลิตที่ต้องสัมผัสกับความร้อน ซึ่งรวมถึงการทำงานกลางแจ้งที่มีความร้อนส่องตรงจากดวงอาทิตย์

2.8.3 อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล ควรเป็นมาตรการสุดท้ายที่พิจารณาเลือกใช้เมื่อไม่สามารถควบคุมความร้อนด้วยวิธีอื่นที่กล่าวมาแล้ว อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลสำหรับการทำงานในสภาพความร้อนที่ร้อน คือ ชุดหรืออุปกรณ์ป้องกันความร้อนและ/หรือทำความเย็นส่วนบุคคล เช่น

1) ชุดสะท้อนรังสีความร้อน อาจเป็นเอี๊ยมหรือเสื้อคลุมแขนยาวที่ปิดคลุมทั้งตัวตั้งแต่คอถึงเท้าเพื่อป้องกันผิวจากการดูดซับความร้อน อย่างไรก็ตาม ชุดสะท้อนความร้อนส่วนใหญ่ทำจากวัสดุที่ขัดขวางการระเหยของเหงื่อ ดังนั้น จึงควรเลือกใช้ชุดสะท้อนรังสีความร้อนในกรณีที่มีการแผ่รังสีความร้อน มีอิทธิพลต่อความร้อนในร่างกายมากกว่าการลดความร้อนโดยการระเหยเหงื่อเท่านั้น และด้วยเหตุนี้ชุดสะท้อนรังสีความร้อนควรหลวมที่สุดเท่าที่เป็นได้ เพื่อให้เหงื่อระเหยได้บ้างและในกรณีที่จำเป็นอาจต้องสวมชุดทำความเย็นไว้ด้านในด้วย

2) ชุดทำความเย็น เช่น

- เสื้อกั๊กบรรจุถุงน้ำแข็งหรือน้ำแข็งแห้ง (Ice Vest) ซึ่งใช้ได้นานประมาณ 2 - 4 ชั่วโมง
- เสื้อเปียก (Wetted Clothing) เป็นเทคนิคที่ง่ายและไม่แพง มีประสิทธิภาพดีเมื่อสวมชุดสะท้อนความร้อนหรือชุดกันสารเคมี เสื้อเปียกอาจเป็นชุดคลุมทั้งตัวหรือเสื้อและกางเกงแยกกันทำจาก

ผ้าฝ้ายชุบน้ำให้เปียกและสวมทับชุดสะท้อนความร้อนหรือชุดกันสารเคมี วิธีนี้มีประสิทธิภาพผลดีในสภาพอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำ ซึ่งเป็นสภาพที่น้ำระเหยได้ดี

- เสื้อผ้าบรรจุน้ำเย็น (Water-cooled Garments) มีหลายรูปแบบ เช่น เป็นชุดคลุมศีรษะ เสื้อกั๊ก กางเกงชั้นในขายาว ซึ่งให้ความเย็นเฉพาะส่วนของร่างกาย การทำงานของเสื้อผ้าเหล่านี้ต้องอาศัยแบตเตอรี่เพื่อปั้มน้ำเย็นจำนวนมากเพื่อให้ระยะเวลาใช้งานยาวนานขึ้น

3) อากาศไหลเวียน (Circulating Air) เป็นอุปกรณ์ที่ซับซ้อนที่สุดในกลุ่มอุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคลนี้ และมีประสิทธิภาพที่สุดเช่นกัน ทำงานโดยการอัดอากาศจากระบบส่งอากาศเข้าไปรอบๆร่างกาย ทำให้ระบายความร้อนได้ทั้งโดยการพาและการระเหยเหงื่อดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่อสวมชุดป้องกันสารเคมีชนิดปิดคลุมทั้งตัว อากาศเย็นถูกอัดเข้ามาในชุดและระบายออกผ่านวาล์วบนชุดป้องกันสารเคมีนั้น อย่างไรก็ตาม ชุดนี้ข้อเสียคือมีเสียงดังของปั๊มที่อัดอากาศเข้าไปในชุด และการเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงานถูกจำกัดด้วยความยาวของท่อส่งอากาศ

2.9 บทสรุป

ความร้อน เกิดจากการสั่นสะเทือนหรือการชนกันของโมเลกุลหรืออะตอมของสสาร หรือปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้พลังงานจลน์ในสสารเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน และพลังงานความร้อนสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานอื่น ๆ ได้ เช่น พลังงานแสง พลังงานกล เป็นต้น โดยความร้อนในร่างกายซึ่งได้รับอิทธิพลจากแหล่งความร้อนที่สำคัญ 2 แหล่ง ได้แก่ แหล่งภายในร่างกาย คือ กระบวนการเผาผลาญอาหารหรือเมแทบอลิซึม (การเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ร่างกาย เพื่อสร้างพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตและการทำงานต่าง ๆ ของร่างกาย) และแหล่งภายนอกในร่างกาย คือ ความร้อนมาจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน เช่น เครื่องจักร เตารอบ กระบวนการผลิต ดวงอาทิตย์ ฯลฯ ซึ่งถ่ายเทความร้อนมายังผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่นั้น และร่างกายพยายามรักษาสมดุลความร้อนเพื่อป้องกันการสะสมหรือสูญเสียความร้อนซึ่งนำไปสู่ผลกระทบต่อสุขภาพได้ ในการตรวจวัดค่าดัชนีความร้อนในการทำงานทำการตรวจวัดด้วยเครื่อง WBGT และพิจารณาว่างานที่พนักงานปฏิบัติเป็นงานเบา งานปานกลาง หรืองานหนัก จากนั้นนำค่าที่ได้จากการตรวจวัดและคำนวณเปรียบเทียบกับภาระงานหรือไหม้ ถ้าเกินมาตรฐานต้องรีบดำเนินการแก้ไขและมีมาตรการควบคุมป้องกัน

คำถามท้ายบท

1. จงให้คำนิยามของคำว่าความร้อน
2. ระดับความร้อนมีหน่วยเป็นอะไรบ้าง
3. การถ่ายเทความร้อนมีกี่วิธี อะไรบ้าง พร้อมอธิบายโดยละเอียด
4. แท้ที่จริงอยู่บนดเครื่องจักรที่ร้อน เป็นการการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีใด
5. จงอธิบายสมการสมดุลความร้อนอย่างละเอียด
6. ปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อสภาพปัญหาความร้อนมีอะไรบ้าง พร้อมอธิบายโดยละเอียด
7. เครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ คือเครื่องมือใด
8. เครื่องมือที่ใช้ประเมินความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานคือเครื่องมือใด
9. ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนแบ่งเป็นกี่ประเภท อะไรบ้าง
10. การตรวจวัดและบันทึกผลเพื่อคำนวณ WBGT ต้องดำเนินการในช่วงใด
11. การตรวจวัดและบันทึกผลเพื่อคำนวณ WBGT ต้องตั้งไว้กี่นาทีก่อนอ่านค่า เพราะเหตุใด
12. จงอธิบายวิธีการตรวจวัด WBGT ในสถานที่ทำงาน
13. อุปกรณ์สำคัญของเครื่อง WBGT มีอะไรบ้าง
14. จงอธิบาย งานหนัก งานปานกลาง งานเบา โดยละเอียด
15. พนักงานคนหนึ่งประเมินภาระงานว่าเป็นงานปานกลาง ตรวจวัด WBGT ในการทำงานพร้อมคำนวณได้เท่ากับ 34 °C อยากทราบว่าค่าดัชนี WBGT เป็นไปตามกฎหมายหรือไม่ จงอธิบาย

เอกสารอ้างอิง

- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2561). **หลักเกณฑ์ วิธีการตรวจวัด และการวิเคราะห์สถานะการทำงานเกี่ยวกับระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง รวมทั้งระยะเวลาและประเภทกิจการที่ต้องดำเนินการ พ.ศ. 2561**. ในประกาศกรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. กระทรวงแรงงาน.
- กรมสวัสดิการและคุ้มครองแรงงาน. (2549). **แนวปฏิบัติตามกฎหมายกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. 2549 การตรวจวัดสภาพความร้อน (Hot Environment Measurement)**. [Online]. Available: http://medinfo2.psu.ac.th/commed/occmmed/images/TIS18001/tisp4/law%20Physi/images/law/practice_hot.pdf.
- กระทรวงแรงงาน. (2561). **กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๕๙**. ในกฎกระทรวงแรงงาน. กระทรวงแรงงาน.
- วันนี พันธุ์ประสิทธิ์. (2557). **สุขศาสตร์อุตสาหกรรม กลยุทธ์ ประเมิน ควบคุม และการจัดการ**. พิมพ์ครั้งที่ 1 . กรุงเทพฯ: หจก.เบสท์ กราฟฟิค เพรส.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH. (2007). **TLV Document: Heat Stress and Strain**.
- COMCUBE. (2563). **EXTECH AN100 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิ Air Flow Anemometer**. [Online]. Available: <https://www.comcube.co.th/product/an100/>.
- EBAY. (2563). **Psychrometer/wet & dry bulb hygrometer**. [Online]. Available: <https://www.ebay.com/itm/PSYCHROMETER-WET-DRY-BULB-HYGROMETER-/372478026339>.
- INNOVATIVE INSTRUMENT CO.,LTD. (2563). **เครื่องวัดความร้อน WBGT สำหรับสถานประกอบการหรือโรงงาน**. [Online]. Available: <https://www.innovative-instrument.com/products/heat-stress-monitor/>.
- International Organization for Standardization.(2004). **ISO/FDIS 8996:2004 (E): Determination of Metabolic Rate**.
- Occupational Safety and Health Administration. **OSHA Technical Manual. Section III: Chapter 4. Heat Stress**. [Online]. Available: https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_iii/otm_iii_4.html.
- Thomann. (2020). **TFA Thermo-Hygrometer Colour**. [Online]. Available: https://www.thomann.de/gb/tfa_thermo_hygrometer_colour.htm.