

ร่าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานการตรวจวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อม  
การทำงานด้วยดัชนี WBGT

สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน

และ

สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
มาตรฐานการตรวจวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อม  
การทำงานด้วยดัชนี WBGT

สมาคมอาชีวอนามัยและความปลอดภัยในการทำงาน  
420/1 อาคาร 2 ชั้น 6 ภาควิชาอาชีวอนามัยและความปลอดภัย คณะ  
สาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ถนนราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท  
เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0 2644 4068

และ

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม  
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400  
โทรศัพท์ 0 2202 3300



# มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

## มาตรฐานการตรวจวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อม

### การทำงานด้วยดัชนี WBGT

#### 1. ขอบข่าย (Scope)

มาตรฐานนี้กล่าวถึงวิธีการตรวจวัดดัชนี WBGT และการประมาณภาระงานเพื่อประเมินสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานในบริเวณนั้น ๆ ด้วยวิธีการนี้ช่วยให้นักวิทยาศาสตร์อุตสาหกรรมเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน หรือผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถวิเคราะห์สภาพการทำงานและพิจารณาดำเนินการเพื่อปกป้องผู้ปฏิบัติงานต่อไปได้

การตรวจวัดนี้เป็นการประเมินสภาพความร้อนและการทำงานที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงานในระหว่างช่วงเวลาที่ทำงานนั้น ๆ แต่ไม่สามารถประเมินผลกระทบในช่วงเวลาสั้น ๆ เช่น 2-3 นาที ได้ รวมทั้งไม่สามารถประเมินสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมที่ระดับความสบายของร่างกายได้เช่นกัน

มาตรฐานการตรวจวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานด้วยดัชนี WBGT นี้ได้อ้างอิงผลการศึกษาและข้อกำหนดบางส่วนในเอกสารซึ่งแสดงไว้ในบรรณานุกรม ทั้งนี้ไม่รวมถึงการแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานเหล่านี้ในอนาคต อย่างไรก็ตาม ผู้ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานนี้ควรพิจารณาใช้เอกสารอ้างอิงฉบับล่าสุดเท่าที่จะเป็นไปได้

#### 2. คำและบทนิยาม ( Term and Definition)

- 2.1. การปรับตัวเข้ากับกับสภาพความร้อน (Acclimatization) หมายถึง การปรับตัวทางสรีรวิทยาของร่างกายให้ทนต่อสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานและภาระงาน
- 2.2. ความร้อนจากการเผาผลาญอาหาร (Metabolic heat) เป็นผลพลอยได้ของการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย
- 2.3. ค่าอ้างอิงหรือมาตรฐาน (Reference or standard) หมายถึง สภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงาน ซึ่งภายใต้เงื่อนไขที่ระบุ ผู้ปฏิบัติงานส่วนใหญ่สามารถทำงานในสภาพนั้น ๆ ได้โดยไม่เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ทั้งนี้ผู้ปฏิบัติงานต้องเป็นผู้ที่มีสุขภาพแข็งแรงไม่มีโรคประจำตัวหรือปัญหาสุขภาพอื่นจะทำให้ได้รับอันตรายจากความร้อนได้ง่ายหรือรุนแรงขึ้น

- 2.4. โคล (Clo) หมายถึง หน่วยวัดฉนวนความร้อนของเสื้อผ้า ซึ่งรวมความเป็นฉนวนของชั้นอากาศระหว่างเสื้อผ้ากับผิวและความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าเอง ซึ่งมีผลต่อความสบายของร่างกายของผู้ที่สวมใส่เสื้อผ้านั้น ฉนวนความร้อนของเสื้อผ้า มีค่าตั้งแต่ 0-4 โคล หากไม่สวมเสื้อผ้าค่าฉนวนความร้อนของเสื้อผ้าเท่ากับ 0 โคล เสื้อผ้าที่ทำจาก aerogel สวมปิดคลุมร่างกายทุกส่วนมีค่าฉนวนความร้อนเท่ากับ 4 โคล เสื้อผ้าที่สวมใส่ในฤดูร้อนมีค่าฉนวนความร้อนประมาณ 0.6 โคล เสื้อผ้าที่สวมใส่ในฤดูหนาว มีค่าประมาณ 1 โคล
- 2.5. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้วัดระดับความร้อนหรืออุณหภูมิ
- 2.6. ภาระงาน (Work load) คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในร่างกาย ซึ่งเท่ากับพลังงานจากการเผาผลาญอาหาร
- 2.7. อุณหภูมิอากาศ (Air temperature,  $t_a$ ) หมายถึง อุณหภูมิของอากาศซึ่งวัดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา เช่น เทอร์โมมิเตอร์ปรอท หรืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิใด
- 2.8. อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (Radiant temperature,  $t_r$ ) หมายถึง อุณหภูมิภายในวัสดุทรงกลม กลวง (ต่อไปนี้จะเรียกว่า โกลบ - Globe) ซึ่งทำจากโลหะบาง ๆ ผิวด้านนอกทาดำด้วยสีดำด้าน
- 2.9. อุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ (Natural Wet Bulb temperature,  $t_{nw}$ ) หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่มีผ้าฝ้ายเปียกหุ้มกระเปาะที่พอดีกระเปาะ ซึ่งเป็นผลจากการระเหยของน้ำ (เหงื่อ) และการพาความร้อน คำว่า “ธรรมชาติ” บ่งชี้ถึงการเคลื่อนไหวของอากาศรอบ ๆ กระเปาะ
- 2.10. อัตราการเผาผลาญอาหาร (Metabolic rate) หมายถึง อัตราการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีในเซลล์ร่างกาย เพื่อสร้างพลังงานที่ใช้ในการทำงาน
- 2.11. WBGT (wet bulb globe temperature) หมายถึง ดัชนีบ่งชี้สภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อม ซึ่งคำนวณจากปัจจัยในสิ่งแวดล้อม ได้แก่ ความชื้นในอากาศ ความเร็วลม การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน

### 3. ข้อกำหนด (Requirements)

#### 3.1 หลักการ

ความร้อนภายในร่างกายของผู้ปฏิบัติงานนั้น ได้รับอิทธิพลจากสองแหล่ง คือ 1) ความร้อนจากสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถถ่ายเทแลกเปลี่ยนกับร่างกาย โดยการนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน และ 2) ความร้อนภายในร่างกายซึ่งเกิดจากการเผาผลาญอาหาร เพื่อนำ

พลังงานไปใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ กิจกรรมที่ใช้พลังงานมาก มีการเผาผลาญอาหารมาก ย่อมมีความร้อนเกิดขึ้นมาก

การวิเคราะห์อิทธิพลของความร้อนในสิ่งแวดล้อมต่อความร้อนในร่างกายนั้น ต้องการข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมสี่ประการ คือ อุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิการแผ่รังสี ความร้อน ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งถูกนำมาคำนวณเป็นค่าดัชนีที่สามารถบ่งชี้ อิทธิพลความร้อนในภาพรวมได้

ดัชนีที่กล่าวถึงในที่นี้ คือ ดัชนี WBGT (Wet Bulb Globe Temperature Index) ในการประเมินสภาพความร้อนภายในอาคารหรือสถานที่ซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรง ค่า WBGT คำนวณจากอุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ ( $t_{nw}$ ) และอุณหภูมิโกลบ ( $t_g$ ) และในกรณีที่ต้องการประเมินสภาพความร้อนภายนอกอาคารซึ่งมีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรงด้วยนั้น ต้องนำค่า อุณหภูมิอากาศ ( $t_a$ ) มาคำนวณด้วย

การวิเคราะห์อิทธิพลของความร้อนที่เกิดจากการเผาผลาญอาหารต้องการข้อมูล เกี่ยวกับพลังงานที่ใช้ในการทำงานและระยะเวลาในการทำงานนั้น ๆ เพื่อคำนวณอัตราการเผาผลาญอาหาร หรือภาระงาน

นำผลที่ได้จากการคำนวณภาระงานและค่าดัชนี WBGT ไปเปรียบเทียบกับค่า อ้างอิงหรือค่ามาตรฐาน หากค่าที่ได้เกินค่าอ้างอิงหรือมาตรฐานต้องดำเนินการเพื่อควบคุม สภาพแวดล้อมหรือการสะสมความร้อนภายในร่างกายของผู้ปฏิบัติงาน เช่น การควบคุมที่แหล่ง ความร้อนโดยการปิดกั้นด้วยฉนวนกันความร้อน การระบายอากาศ การจัดตารางการทำงาน สำหรับผู้ปฏิบัติงานใหม่ เพื่อให้สามารถปรับตัวเข้ากับสภาพความร้อน การจัดหาเครื่องดื่มเกลือแร่ เพื่อชดเชยส่วนที่ถูกขับออกมากับเหงื่อ เป็นต้น

### 3.2. เครื่องมือตรวจวัด

ในการวัดค่าดัชนี WBGT ต้องวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ ( $t_{nw}$ ) อุณหภูมิ โกลบ ( $t_g$ ) และอุณหภูมิอากาศ ( $t_a$ ) ด้วยเทอร์โมมิเตอร์สามชนิดซึ่งมีคุณลักษณะ ดังนี้

3.2.1. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกธรรมชาติ (Natural wet bulb temperature sensor) คือ เทอร์โมมิเตอร์ที่คลุมกระเปาะด้วยผ้าฝ้ายชื้นเด็ยมมีน้ำเปียกชุ่มตลอดเวลา มีอากาศ หมุนเวียนตามธรรมชาติรอบ ๆ กระเปาะได้ดี (เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกธรรมชาติ จึงมีค่าต่าง จากอุณหภูมิกระเปาะเปียกซึ่งอ่านจากไซโครมิเตอร์ที่มีอากาศเป่าผ่านกระเปาะของ เทอร์โมมิเตอร์)

เทอร์โมมิเตอร์มีคุณลักษณะดังนี้

- 1) รูปร่างของกระเปาะ หรือส่วนที่รับความร้อน (sensor) เป็นทรงกระบอก

- 2) เส้นรอบวงด้านนอกของกระเปาะมีขนาด 6 มม.  $\pm$  1 มม.
- 3) ความยาวของกระเปาะเท่ากับ 30 มม.  $\pm$  5 มม.
- 4) อ่านค่าได้ในช่วง  $5^{\circ}\text{ซ} - 40^{\circ}\text{ซ}$
- 5) ความแม่นยำในการตรวจวัด  $\pm 0.5^{\circ}\text{ซ}$
- 6) ส่วนกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ต้องคลุมด้วยผ้าฝ้ายชั้นเดียวซึ่งอุ้มน้ำได้ดี
- 7) ส่วนที่ต่อจากกระเปาะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. และเหนือกระเปาะขึ้นมา 20 มม. ต้องคลุมด้วยผ้าฝ้ายเพื่อลดการนำความร้อนมายังกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์
- 8) ผ้าฝ้ายควรมีรูปร่างเป็นปลอกสามารถคลุมกระเปาะได้พอดี ไม่ควรแน่นหรือหลวมเกินไปเพราะจะมีผลต่อความแม่นยำในการวัด
- 9) ผ้าฝ้ายต้องสะอาด
- 10) ปลายอีกด้านหนึ่งของผ้าฝ้ายต้องจุ่มในน้ำกลั่น ส่วนที่พื่นน้ำจนถึงกระเปาะมีความยาวประมาณ 20 - 30 มม.
- 11) ภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ควรมีลักษณะที่ไม่ทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นจากการแผ่รังสีความร้อน เช่น ขวดแก้วรูปชมพู่ขนาด 250 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.2.2 โกลบเทอร์โมมิเตอร์ (Globe temperature sensor) วัดอุณหภูมิโกลบจากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งมีกระเปาะอยู่ภายในตรงกึ่งกลางทรงกลม กลวง มีลักษณะดังต่อไปนี้

#### 3.2.2.1. โกลบ:

- 1) ทรงกลม กลวง ทาด้วยสีดำด้านเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม.
- 2) ทำด้วยวัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.95
- 3) วัสดุที่ทำโกลบควรบางที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

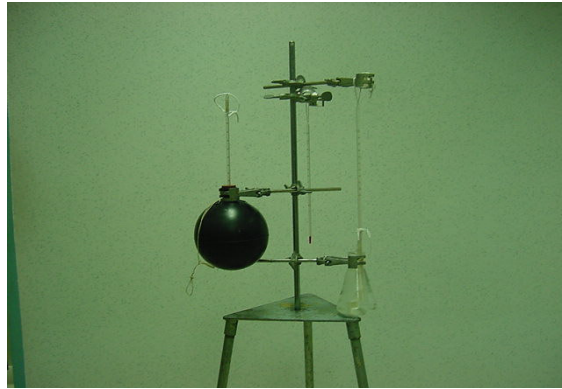
#### 3.2.2.2. เทอร์โมมิเตอร์

- 1) อ่านค่าได้ในช่วง  $20^{\circ}\text{ซ} - 120^{\circ}\text{ซ}$
- 2) ค่าความแม่นยำในช่วง  $20^{\circ}\text{ซ} - 50^{\circ}\text{ซ}$  เท่ากับ  $\pm 0.5^{\circ}\text{ซ}$  และในช่วง  $50^{\circ}\text{ซ} - 120^{\circ}\text{ซ}$  เท่ากับ  $\pm 1^{\circ}\text{ซ}$

อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียก หรืออุณหภูมิโกลบใด ๆ หากได้รับการปรับเทียบความถูกต้องให้สามารถอ่านค่าในช่วงที่กำหนด และให้ค่าที่แม่นยำเท่ากับที่ระบุแล้วสามารถนำมาใช้วัด WBGT ได้เช่นกัน

3.2.3. เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง (Dry bulb temperature sensor) คือ เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิอากาศ มีคุณลักษณะภายนอกเช่นเดียวกับเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก และมีช่วงการวัดอุณหภูมิระหว่าง  $10^{\circ}\text{ซ} - 60^{\circ}\text{ซ}$  มีความแม่นยำ  $\pm 1^{\circ}\text{ซ}$  หรือ

ดีกว่า ในขณะที่ตรวจวัดต้องป้องกันไม่ให้กระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ได้รับรังสีความร้อนที่แผ่จากแหล่งโดยตรง โดยใช้กระดาษสีขาว แผ่นอลูมิเนียม หรืออลูมิเนียมฉาบบนด้านหนึ่งของกระดาษขาว ปิดกั้นระหว่างกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์และแหล่งความร้อน โดยวัสดุดังกล่าวต้องไม่กีดขวางการไหลเวียนของอากาศรอบ ๆ กระเปาะเทอร์โมมิเตอร์



ภาพที่ 1 อุปกรณ์และการติดตั้ง

3.2.4. การวัดดัชนี WBGT อาจใช้อุปกรณ์อื่นที่มีความสามารถเทียบเท่าและได้รับการรับรองจากหน่วยงานซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปได้

3.2.5 การเปรียบเทียบความถูกต้องของเครื่องมือ เทอร์โมมิเตอร์ที่นำมาใช้ในการตรวจวัดต้องได้รับการปรับเทียบให้มีความถูกต้องแม่นยำตามที่ระบุในมาตรฐาน และสำหรับเครื่องมือที่ทำงานด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เซอร์ และมิเตอร์ของเครื่องมือต้องได้รับการปรับเทียบให้อยู่ในเกณฑ์ดังกล่าวด้วย

ทั้งนี้ อุปกรณ์และเครื่องมือเหล่านี้ต้องได้รับการปรับเทียบความถูกต้อง อย่างน้อยปีละครั้ง

3.3. **วิธีการตรวจวัด** เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ ต้องใช้เวลาระยะหนึ่งจึงจะมีค่าคงที่ โดยเฉพาะโกลบเทอร์โมมิเตอร์ ดังนั้นจึงต้องตั้งอุปกรณ์ไว้อย่างน้อย 25 นาที ก่อนการอ่านค่า ขณะที่เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ อาจมีช่วงเวลาในการตอบสนอง (Response time) ที่แตกต่างกันไป ผู้ใช้ต้องศึกษาวิธีการใช้และใช้อย่างถูกต้อง เพื่อให้ได้ค่าดัชนี WBGT ที่สะท้อนสภาพแวดล้อมที่แท้จริง

3.3.1. การตรวจวัด WBGT ในสิ่งแวดล้อมที่ความร้อนกระจายสม่ำเสมอให้ติดตั้งเทอร์โม

มิเตอร์ทั้งสามกับข้างตั้ง โดยให้กระเปาะเทอร์มิเตอร์อยู่ที่ระดับอกของผู้ปฏิบัติงาน ค่าที่ได้นำมาคำนวณด้วยสูตรต่อไปนี้

ภายในอาคาร หรือภายนอกอาคารที่ไม่มีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรง

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.3 t_g$$

ภายนอกอาคารที่มีแสงอาทิตย์ส่องโดยตรง

$$WBGT = 0.7 t_{nw} + 0.2 t_g + 0.1 t_a$$

$t_{nw}$  = อุณหภูมิกระเปาะเปียกธรรมชาติ

$t_g$  = อุณหภูมิโกลบ

$t_a$  = อุณหภูมิอากาศ

3.3.2. การตรวจวัด WBGT ในสภาพแวดล้อมที่ความร้อนในแต่ละระดับความสูงแตกต่างกัน (Heterogeneity environment) ควรทำการตรวจวัดความร้อนในสามระดับ คือ ระดับศีรษะ ท้อง และข้อเท้าของผู้ปฏิบัติงานในขณะยืนหรือนั่งตามสภาพการทำงานนั้น ๆ และคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าที่วัดได้จากสามระดับนั้น โดยใช้สูตรต่อไปนี้

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

ถ้า WBGT ในแต่ละระดับมีค่าแตกต่างกันน้อยกว่า 5% ถือว่าความร้อนมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ในกรณีนี้สามารถใช้ค่าที่ได้จากการตรวจวัดที่ระดับท้อง เป็นค่า WBGT ของสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ได้

อย่างไรก็ตาม หากไม่มั่นใจว่าการวัดระดับความร้อนในสิ่งแวดล้อมสม่ำเสมอควรตรวจวัดทั้งสามระดับเพื่อความรวดเร็ว หากจำเป็นต้องเลือกตรวจวัดเพียงระดับเดียว ให้ตรวจวัดในระดับที่มีความร้อนสูงที่สุด และใช้เป็นตัวแทนของจุดอื่น ๆ ด้วย ทั้งนี้ต้องระบุเหตุผลไว้ในหมายเหตุในแบบประเมินผลด้วย

### 3.4. การตรวจวัดหรือคำนวณค่าพลังงานที่ใช้ในการทำงาน (ภาระงาน)

ปริมาณความร้อนที่ผลิตขึ้นในร่างกายจากการเผาผลาญอาหารเป็นส่วนหนึ่งของความร้อนที่สะสมในร่างกาย ดังนั้นจึงต้องนำมาพิจารณาในการประเมินสภาพความร้อน และเนื่องจากพลังงานจากการเผาผลาญอาหาร คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในร่างกาย ดังนั้น จึงเป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการคำนวณพลังงานที่ร่างกายใช้ในการทำงาน

อัตราการเผาผลาญอาหารอาจได้จาก

- การวัดปริมาณการใช้ออกซิเจนของผู้ปฏิบัติงาน หรือ
- การคำนวณโดยใช้ค่าที่ประมาณไว้ในตารางที่ 1

การประมาณอัตราเผาผลาญอาหารจากตารางที่ 1 สามารถให้ค่าที่แม่นยำพอเพียงสำหรับการประเมินผลกระทบต่อร่างกายเนื่องจากความร้อนโดยดัชนี WBGT อย่างไรก็ตาม ผู้ที่คำนวณค่าอัตราเผาผลาญอาหารต้องผ่านการฝึกปฏิบัติและมีประสบการณ์ในการประเมินจริงมาก่อน

**ตารางที่ 1** การประมาณอัตราการเผาผลาญอาหาร

อัตราการเผาผลาญ (M)		ค่าที่ใช้ในการคำนวณ	ตัวอย่าง
(w/m <sup>2</sup> ) (ต่อพื้นที่ผิว)	(W) เมื่อพื้นที่ผิว = 1.8 m <sup>2</sup>	w	
M < 65	M < 117	115	พักผ่อน
65 < M < 130	117 < M < 234	180	<p>งานเบา:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- นั่งสบาย ๆ : ทำงานเบาด้วยมือเช่น เขียน พิมพ์งาน วาดภาพ เย็บผ้า จัดเก็บหนังสือ ทำงานใช้มือและแขน เช่น ใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือขนาดเล็ก ตรวจสอบหรือตรวจสอบวัสดุ ประกอบหรือตัดแยกวัสดุขนาดเล็กนำหน้าเก็บ ทำงานใช้แขนและขา เช่น ขับรถใน สภาพถนนปกติ ควบคุมเครื่องจักรด้วยเท้า</li> <li>- ยืน เช่น เจาะชิ้นงานขนาดเล็ก บดชิ้นงานขนาดเล็ก ม้วนขดลวด ใช้เครื่องมือขนาดเล็ก ม้วนขดลวด ไสหรือกลึงชิ้นงานด้วยเครื่องมือพลังงานต่ำ เดินสบาย ๆ (ความเร็ว 3.5 กม./ชม.)</li> <li>- งานเย็บปักหรือฉีกหนังสือ</li> <li>- งานพิมพ์ หรือยืนถ่ายเอกสาร</li> <li>- งานซ่อมรองเท้า</li> <li>- งานจราจรที่ทำหน้าที่ให้สัญญาณ โดยการโบกรถ</li> <li>- งานนั่งในออฟฟิศทั่วไป เช่น พนักงานห้องแล็บ</li> <li>- งานเย็บผ้า ตัดผ้าโดยใช้มือหรือจักร</li> <li>- งานพิมพ์ดีด โดยอาจเป็นพิมพ์ดีดไฟฟ้า หรือคอมพิวเตอร์</li> <li>- งานแม่บ้านโรงแรม ประเภทเปลี่ยนผ้าปูที่นอน</li> </ul>
130 < M < 200	234 < M < 360	300	<p>งานปานกลาง:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- การทำงานด้วยมือและแขนต่อเนื่องเป็นเวลานาน ๆ เช่น ใช้ส้อมตอกตะปู ยานแนว (หลังคา) ทำงานด้วยแขนและขา เช่น ขับรถบรรทุก แทรคเตอร์ ขับรถบนทางวิบากหรือควบคุมเครื่องจักรสำหรับการก่อสร้าง ทำงานใช้</li> </ul>

			<p>แขนและลำตัว เช่น ทำงานกับชิ้นกลม ประกอบรถแทรกเตอร์ ฉาบปูน ขนย้ายสิ่งของหนักปานกลางเป็นช่วง ๆ ขุดหลุม ดายหญ้า เก็บผักผลไม้ ดึงหรือดัน รถเข็นน้ำหนักเบา เดินด้วยความเร็ว 3.5-5.5 กม/ชม ตีเหล็ก</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- งานช่างไม้ทั่วไป</li> <li>- ขับรถแทรกเตอร์เก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตร</li> <li>- งานเชื่อมโลหะทั่วไป</li> <li>- งานขุดดินที่ใช้แรงน้อยกว่า 10 ปอนด์/นาที่</li> <li>- งานขับรถบรรทุกที่ต้องมีการย่นเพื่อต่อตัวรถพ่วง</li> <li>- งานเดินและเข็นรถออกแรงโดยการผลัก</li> <li>- สอนการออกกำลังกาย</li> <li>- งานแม่บ้านโรงแรม ดูดฝุ่น ล้างอ่าง</li> </ul>
200<M<260	360<M<468	415	<p><u>งานหนัก:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำงานด้วยแขน และลำตัวโดยออกแรงมากขึ้น เช่น ยกของหนักๆ งานแซะตัก ใช้ชิ้นปอนด์ เลื่อยไม้ ชัดหรือแกะสลักไม้เนื้อแข็ง ตัดหญ้าด้วยมือ ขุดดิน เดินด้วยความเร็ว 5.5-7 กม/ชม</li> <li>- ดึง-ดันรถเข็นที่มีน้ำหนักมาก จัดวางแท่งคอนกรีต ตัดเหล็กหล่อเป็นชิ้นเล็ก ๆ</li> <li>- งานซ่อม-สร้างถนน</li> <li>- งานก่ออิฐ ผนังคอนกรีต</li> <li>- งานขุดดินที่ใช้แรง 10-15 ปอนด์/นาที่</li> <li>- การใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องเจาะถนน</li> </ul>
M>260	M>468	520	<p><u>งานหนักมาก:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ทำงานออกแรงมากด้วยความเร็ว เช่น ทำงานใช้ขวาน ตัก หรือขุดอย่างแรง</li> <li>- ปีนบันได ลึงกีดขวาง หรือบันไดลิง เดินชอยเท้าเร็ว ๆ วิ่ง เดินด้วยความเร็วมากกว่า 7 กม/ชม</li> <li>- งานเหมืองถ่านหินประเภท เจาะ หรือขุด</li> <li>- งานของพนักงานดับเพลิง ที่ต้องมีการปีนบันได</li> <li>- งานขุดดินที่ใช้แรงมากกว่า 16 ปอนด์/นาที่</li> <li>- งานตัดและหลอมเหล็ก</li> <li>- งานขนย้ายเศษเหล็ก</li> </ul>

หมายเหตุ 1 w = 0.014 กิโลแคลอรี/นาที่

**3.5. การคำนวณค่าเฉลี่ย** ในสภาพความเป็นจริง WBGT และอัตราการเผาผลาญอาหาร อาจไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนั้น การคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าดังกล่าวสามารถคำนวณ ด้วยวิธีต่อไปนี้

3.5.1 ค่าเฉลี่ยพลังงานที่ใช้ในการทำงาน คำนวณจาก

$$\text{Avg. M.} = \frac{M_1 t_1 + M_2 t_2 + \dots + M_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad \dots\dots(1)$$

เมื่อ  $M_1, M_2 \dots$  และ  $M_n$  คือ ค่าโดยประมาณหรือค่าที่วัดได้ของอัตราการเผาผลาญพลังงานสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ และระหว่างการพักของผู้ปฏิบัติงานในช่วงของ  $t_1, t_2 \dots$  และ  $t_n$  (นาที) และ  $t_1 + t_2 + \dots + t_n = T = 60$  นาที ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่คุณคณทำงานใช้พลังงาน  $M_1, M_2 \dots$  และ  $M_n$  ตามลำดับได้จากการจดบันทึกเวลาขณะตรวจวัด

3.5.2 ค่าเฉลี่ย WBGT คำนวณจากสมการ

$$\text{Avg. WBGT} = \frac{\text{WBGT}_1 \times t_1 + \text{WBGT}_2 \times t_2 + \dots + \text{WBGT}_n \times t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad \dots\dots(2)$$

เมื่อ  $\text{WBGT}_1, \text{WBGT}_2 \dots\dots$  และ  $\text{WBGT}_n$  คือ WBGT ที่คำนวณได้จากการตรวจวัดบริเวณทำงานแต่ละพื้นที่และในบริเวณที่พัก

$t_1, t_2 \dots$  และ  $t_n$  เป็นช่วงเวลา (นาที) ที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่ในแต่ละพื้นที่ที่สภาพความร้อน  $\text{WBGT}_1, \text{WBGT}_2 \dots\dots$  และ  $\text{WBGT}_n$  ตามลำดับ ได้จากการจดบันทึกเวลาขณะตรวจวัด

ในกรณีที่มีการผู้ปฏิบัติงานในสภาพความร้อนนั้น มีรอบการทำงานที่แน่นอนในหนึ่งชั่วโมง ค่าเฉลี่ยควรคำนวณในแต่ละชั่วโมง นั่นคือ  $t_1 + t_2 + \dots + t_n = 60$  นาที หากผู้ปฏิบัติงานทำงานต่อเนื่องไม่หยุดพัก (ยกเว้นพักรับประทานอาหารและพักย่อยตามปกติ) หรือเวลาพักน้อยกว่า 15 นาที ในแต่ละชั่วโมง ถือว่าเป็นการทำงานอย่างต่อเนื่องแล้ว ควรตรวจวัดและคำนวณค่าเฉลี่ยในเวลา 2 ชั่วโมง นั่นคือ  $t_1 + t_2 + \dots + t_n = 120$  นาที หรือหากรอบหนึ่งๆ ของการทำงานยาวนานกว่า 60 นาที แต่ไม่ต่อเนื่อง ให้ตรวจวัดและประมาณค่า WBGT และอัตราการเผาผลาญอาหารในช่วงเวลาหนึ่งรอบการทำงาน

**3.6. การปรับมาตรฐาน (ค่าอ้างอิง) ตามชนิดของเสื้อผ้าที่ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่**

เสื้อผ้าที่ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่มีอิทธิพลต่อการระเหยของเหงื่อ (การระบายความร้อนของร่างกาย) ดังนั้นจึงควรปรับเพิ่มค่า WBGT ตามลักษณะของเสื้อผ้า เพื่อป้องกันมิให้อุณหภูมิร่างกายสูงเกิน 38 องศาเซลเซียส ด้วยค่าที่แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าปรับเพิ่ม WBGT ตามเสื้อผ้าที่สวมใส่

ชนิดของเสื้อผ้า	ค่าที่นำไปบวกเพิ่มค่า WBGT
ชุดทำงานปกติ (เสื้อแขนยาว กางเกงขายาว)	0
ชุดหม้อที่ตัดจากผ้าทอ	0
ชุดสองชั้นที่ตัดจากผ้าทอ	3
ชุดหม้อที่ตัดจากผ้าสังเคราะห์โพลีโพลีเอสเตอร์	0.5
ชุดหม้อโพลีโพลีเอสเตอร์	1
ชุดหม้อที่จำกัดการระเหยของเหงื่อ	1.1

หมายเหตุ ห้ามนำค่าเหล่านี้ไปใช้กับชุดปิดคลุมทั้งตัว (Encapsulating suits) และสำหรับการสวมชุดหม้อเป็นการสวมทับชุดชั้นในหรือชุดบางๆเท่านั้นมิใช่สวมทับชุดทำงานอื่น

### 3.7. ช่วงเวลา ระยะเวลา และความถี่ในการตรวจวัด

3.7.1. ช่วงเวลาที่ตรวจวัด การใช้ดัชนี WBGT ตามมาตรฐานนี้ ต้องเป็นการตรวจวัดค่าสภาพความร้อนในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานทำงานเท่านั้น ฉะนั้น จึงเสนอแนะให้ตรวจวัดในช่วงเวลาที่ผู้ปฏิบัติงานเสี่ยงต่อสภาพความร้อนสูงสุด โดยทั่วไปคือ ช่วงฤดูร้อน ในเวลากลางวัน หรือขณะเดินเครื่องจักรหรือในขณะกระบวนการผลิตมีความร้อนเกิดขึ้น

3.7.2. ระยะเวลาการตรวจวัด ระยะเวลาในการตรวจวัดแต่ละครั้งขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่เทอร์มิสเตอร์ใช้ในการแสดงค่า โกลบเทอร์มิเตอร์ใช้เวลานานที่สุด คือ ประมาณ 25 นาที ดังนั้น การตรวจวัดในแต่ละจุดจึงควรใช้เวลาอย่างน้อย 25 นาที ซึ่งการตรวจวัดอาจอ่านค่าเพียงค่าเดียวหรืออ่านค่าที่ระดับต่าง ๆ สำหรับแต่ละอุณหภูมิ ระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจวัดแต่ละพื้นที่นี้จึงแตกต่างจากระยะเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งกล่าวถึงในข้อ 3.5.

### 3.8. รายงานผลการตรวจวัด

3.8.1. การตรวจวัดดัชนี WBGT ในการบันทึกและรายงานผลการตรวจวัดสภาพความร้อนในสิ่งแวดล้อมการทำงานในสถานการณ์หนึ่ง ๆ ควรระบุข้อมูลต่อไปนี้

3.7.1.1 สถานที่ตรวจวัด เช่น โรงงาน โรงซ่อม สถานที่ทำงาน แบนก ฝ้าย ฯลฯ

3.7.1.2 ช่วงเวลาที่ตรวจวัด เช่น วัน เดือน ปี เวลา

3.7.1.3 ผู้ที่ทำการตรวจวัด

3.7.1.4 ยี่ห้อ รุ่น และหมายเลขเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

3.7.1.5 รายละเอียดผลการตรวจวัดหรือค่าที่ตรวจวัดได้  $t_a$ ,  $t_g$ ,  $t_{nw}$ , และ WBGT

3.7.1.6 ค่า WBGT เฉลี่ยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง

ดูตัวอย่างและวิธีการนำเสนอผลการตรวจวัดในภาคผนวก 5

3.7.2 การประมาณค่าอัตราการเผาผลาญ ข้อมูลที่ต้องบันทึกเพื่อนำไปคำนวณหา  
อัตราการเผาผลาญ ได้แก่

3.7.2.1 ลักษณะงานและขั้นตอนทำงาน

3.7.2.2 ระยะเวลาในการทำงานหนึ่ง ๆ และความถี่ในการทำงานนั้น ๆ

3.7.2.3 พลังงานที่ใช้ในการทำงานหนึ่ง ๆ

3.7.2.4 ค่าเฉลี่ยพลังงานในการทำงาน

### บรรณานุกรม (Reference)

1. ISO 7243, Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, Based on the WBGT – index (wet bulb globe temperature)
2. ISO 7726, Thermal environments – Instruments and methods for measuring physical quantities.
3. ISO 7730, Moderate environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
4. ISO 7933, Hot environments – Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rates
5. ACGIH, Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices, 2007
6. OSHA Technical Manual. Section 3 : chapter 4 Heat Stress

## ภาคผนวก

- 1 ตัวอย่างแบบบันทึกผลการตรวจวัด WBGT
- 2 ตัวอย่างแบบบันทึกกิจกรรมเพื่อคำนวณภาระงาน
- 3 ตัวอย่างการคำนวณ WBGT และภาระงาน
- 4 ตัวอย่างแบบรายงานผลการประเมิน

**ภาคผนวก 1**  
**ตัวอย่างแบบบันทึกผลการตรวจวัด WBGT**

ชื่อโรงงาน.....แผนก.....					
วันที่ตรวจวัด.....อุปกรณ์ที่ใช้.....					
ชื่อผู้ตรวจวัด:.....					
ระบุรายละเอียดของพื้นที่หรือตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด (สามารถใช้พื้นที่ด้านหลังของแบบบันทึกนี้วาดภาพประกอบคำอธิบาย)					
สภาพอากาศทั่วไป :					
การปรับตัวเข้ากับสภาพความร้อนของ ผู้ปฏิบัติงาน :.....					
เสื้อผ้าที่ผู้ปฏิบัติงานสวม ใส่ : .....					
ระยะเวลาที่ใช้คำนวณค่าเฉลี่ย WBGT , T=1 ชั่วโมง					
รายละเอียดของการตรวจวัด					
พื้นที่และระดับที่ตั้งอุปกรณ์	เวลา	ค่าที่วัดได้ (°C)			WBGT (°C)
		$t_a$	$t_w$	$t_r$	
แผนผังพื้นที่และจุดตรวจวัด					

**ภาคผนวก 2**  
**ตัวอย่างแบบบันทึกกิจกรรมเพื่อคำนวณภาระงาน**

ชื่อผู้ปฏิบัติงาน.....ตำแหน่งงาน.....			
หน้าที่.....แผนก.....			
วันที่บันทึก..... ชื่อผู้บันทึก.....			
ระบุรายละเอียดของพื้นที่หรือตำแหน่งที่ผู้ปฏิบัติงานทำงาน (สามารถใช้พื้นที่ด้านหลังของแบบบันทึกนี้วาดภาพประกอบคำอธิบาย)			
สภาพอากาศทั่วไป :			
การปรับตัวเข้ากับสภาพความร้อนของ ผู้ปฏิบัติงาน :.....			
เสื้อผ้าที่ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ : .....			
ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าพลังงานเฉลี่ย , T=1 ชั่วโมง			
ลักษณะงาน/กิจกรรม	อัตราการเผาผลาญ อาหาร (W)	ระยะเวลาที่ทำงาน (นาที)	พลังงานที่ใช้ ทั้งหมด
ภาระงานในหนึ่งชั่วโมง (กิโลแคลอรี / ชั่วโมง)			
ข้อคิดเห็น/หมายเหตุ:			

### ภาคผนวก 3

#### ตัวอย่างการคำนวณ WBGT และภาระงาน

พนักงานคุมเตาหลอมโลหะทำหน้าที่ตักโลหะที่หลอมเหลวแล้วเทลงในเบ้าหล่อ ในเวลา 20 นาที พนักงานคนนี้ต้องเทโลหะหลอมเหลวนี้อีกในเบ้า 16 เบ้า แล้วไปยืนพักในบริเวณที่มี spot cooling ประมาณ 10 นาที รอให้โลหะแข็งตัวแล้วจึงกระแทกเอาแท่งโลหะออกจากเบ้ายกไปวางกองเรียงกันไว้ใช้เวลา 30 นาที แล้วกลับมาทำงานเดิม (เทโลหะเหลวลงเบ้า) สลับกันเช่นนี้ ตลอดทั้งวัน

ข้อมูลจากการสังเกตการทำงานและการตรวจวัด WBGT

รายละเอียดของการตรวจวัด			
พื้นที่และระดับที่ตั้งอุปกรณ์	เวลาที่ตรวจวัด	WBGT (°C)	ระยะเวลาทำงานในพื้นที่ (นาที)
หน้าเตาหลอมใกล้จุดที่พนักงานยืนทำงาน	11.30-12.00	35	20
บริเวณ spot cooling พนักงานยืนพัก	10.00-10.30	28	10
กระแทกแท่งโลหะออกจากเบ้า	11.30-12.00	33	30
			รวมเวลา = 60

ทำงาน 20 นาที พัก 10 นาที และทำงาน 30 นาที ลักษณะงานในแต่ละชั่วโมงเหมือนกันจึงคำนวณค่า WBGT เฉลี่ยและภาระงานเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง

การคำนวณ WBGT:

$$\text{WBGT เฉลี่ย} = [(35 \times 20) + (28 \times 10) + (33 \times 30)] / 60 = [700 + 280 + 990] / 60 = 32.8^\circ \text{C}$$

ข้อมูลสำหรับการคำนวณภาระงาน

ลักษณะงาน/กิจกรรม	อัตราการผลิตอาหาร (W)	ระยะเวลาที่ทำงาน (นาที)	พลังงานที่ใช้ทั้งหมด
ตักโลหะเหลวเทลงเบ้า	415	20	8300
กระแทกโลหะออกจากเบ้าและยกไปวางกองเรียงกัน	415	30	12450
พัก	115	10	1150
รวม			21900

คำนวณภาระงาน

$$\begin{aligned} \text{พลังงานเฉลี่ย} &= [8300 + 12450 + 1150] / 60 \\ &= 365 \text{ w} \quad \text{จัดเป็นงานหนัก} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คำนวณเป็นหน่วยกิโลแคลอรี/ชั่วโมง} &= 365 \times 0.014 \times 60 \\ &= 306.6 \text{ กิโลแคลอรี/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

## ภาคผนวก 4 ตัวอย่างแบบรายงานผลการประเมิน

ชื่อโรงงาน.....แผนก.....					
วันที่ตรวจวัด.....เวลา.....อุปกรณ์ที่ใช้.....					
ชื่อผู้ตรวจวัด:.....					
ระบุรายละเอียดของพื้นที่หรือตำแหน่งที่ทำการตรวจวัด (สามารถใช้พื้นที่ด้านหลังของแบบบันทึกนี้วาดภาพประกอบคำอธิบาย)					
สภาพอากาศทั่วไป :					
การปรับตัวเข้ากับสภาพความร้อนของผู้ปฏิบัติงาน :.....					
เสื้อผ้าที่ผู้ปฏิบัติงานสวมใส่ : .....					
ระยะเวลาที่ใช้คำนวณค่าเฉลี่ย WBGT , T=1 ชั่วโมง					
รายละเอียดการตรวจวัด					
พื้นที่และระดับที่ตั้งอุปกรณ์ / ลักษณะงาน	WBGT(°C)		อัตราการเผาผลาญ		เปรียบเทียบมาตรฐาน ( $\sqrt{X}$ )
	คำนวณ	ค่าเฉลี่ย	คำนวณ	ค่าเฉลี่ย	
หน้าเตาหลอม / ตักโลหะเหลวเทลงเบ้า					
จุกยื่นพัก / ยืนพัก					
จุดเรียงกองแท่งโลหะ / กระแทกแท่งโลหะออกจากเบ้าและยกไปวางกองเรียงกันไว้					
ค่าอ้างอิง WBGT สำหรับเสื้อผ้าที่มีค่าโคล = 0.6	ผู้ปฏิบัติงานคุ้นเคยกับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน :				
	ผู้ปฏิบัติงานไม่คุ้นเคยกับการทำงานในสภาพแวดล้อมที่ร้อน :				
ค่าอ้างอิง WBGT ตามลักษณะของชุดทำงาน:					
สรุปผลและข้อเสนอแนะ:					