บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

นิยามความหมายที่เกี่ยวข้องกับความร้อน

ความร้อน (heat) เป็นพลังงานรูปหนึ่งที่สามารถทำให้มนุษย์รับรู้ได้โดยประสาทสัมผัส พลังงานความร้อนที่อยู่ในวัตถุจะอยู่ในรูปของพลังงานจลน์ซึ่งเกิดจากการสั่นและการชนกันของโมเลกุลและอะตอมของสสาร เมื่อวัตถุได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นโมเลกุลและอะตอมจะเคลื่อนไหวเร็วขึ้น เกิดการสั่นและการชนกันมากขึ้น ถ้าวัตถุนั้นเป็นของแข็งก็อาจอ่อนตัวลง ถ้าเป็นของเหลวก็จะเกิดการระเหยได้ และถ้าเป็นก๊าซก็จะเกิดการขยายตัวหรือเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น ความร้อนนั้นเป็นพลังงานที่อาจเปลี่ยนแปลงมาจากพลังงานรูปอื่นได้ เช่น พลังงานเคมี พลังงานไฟฟ้า แสง หรือพลังงานกล เป็นต้น (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2533)

อุณหภูมิ (temperature) คือ ระดับความร้อนหรือพลังงานจลน์ของโมเลกุลหรืออะตอมของวัตถุนั้น และเป็นคุณสมบัติประจำตัวของวัตถุ เมื่อวัตถุมีความร้อนอยู่ในตัวจะมีแนวโน้มแสดงให้เห็นว่า ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปอีกวัตถุหนึ่งซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นปริมาณความร้อนได้ มาตราส่วนของอุณหภูมิที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ องศาเซลเซียส (Celsius: ^{o}C) และองศาฟาเรนไฮต์ (Farenheit: ^{o}F) ส่วนมาตราส่วนที่ใช้ในห้องปฏิบัติการมักจะใช้องศาสัมบูรณ์แรงคิน (Rankine) และองศาสัมบูรณ์เคลวิน (Kelvin) (จักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ, 2533)

ปริมาณความร้อน (quantity of heat) คือ จำนวนพลังงานของความร้อนที่ถูกถ่ายเทจากวัตถุหนึ่งไปอีกวัตถุหนึ่งซึ่งสามารถคำนวณออกมาได้ หน่วยวัดปริมาณความร้อนที่ใช้กันโดยทั่วไปจะใช้หน่วยกิโลแคลอรี (Kilocalories : Kcal) และหน่วยบีทียู (British Thermal Units : BTU)

ปริมาณความร้อน 1 กิโลแคลอรี เท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิสูงขึ้น $1^{o}C$ ปริมาณความร้อน 1 บีทียู เท่ากับปริมาณความร้อนที่ทำให้น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น $1^{o}F$ และปริมาณความร้อน 1 กิโลแคลอรี เท่ากับ 3.968 บีทียู (สุวดี ทวีสุข, 2535)

สภาพความร้อน (ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อม, 2515) คือ อุณหภูมิที่เป็นอยู่รอบตัวลูกจ้างในขณะทำงานปกติ

แหล่งกำเนิดความร้อน

ชนิดและแหล่งกำเนิดความร้อนที่มีอิทธิพลต่อร่างกายของมนุษย์นั้นมาจากแหล่งกำเนิดสามแหล่งใหญ่ๆ ด้วยกัน ประกอบด้วย

1. ความร้อนภายในร่างกายที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร (Metabolism)
2. ความร้อนที่ร่างกายผลิตขึ้นจากการทำกิจกรรมหรือทำงาน
3. ความร้อนที่ร่างกายได้รับจากสิ่งแวดล้อม

ในการประเมินความร้อนที่ได้รับจากแหล่งกำเนิดใดเพียงแหล่งเดียวนั้นย่อมไม่เพียงพอ เนื่องมาจากการประเมินความร้อนนั้นจะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายอย่างมาประกอบกัน ได้แก่ ปัจจัยเกี่ยวกับตัวบุคคล ปัจจัยเกี่ยวกับงานที่ทำ ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยทั้งหมดล้วนแต่มีความสำคัญที่จะต้องพิจารณาเข้าด้วยกัน โดยจะพิจารณาเพียงปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเพียงปัจจัยเดียวย่อมไม่ถูกต้องนัก ตารางที่ 2.1 เป็นตัวอย่างรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยด้านตัวบุคคล ปัจจัยด้านงานที่ทำ และปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณาเพื่อประเมินความร้อน
(บุษบา พฤกษ์ธาราธิกุล, 2530)

ปัจจัยเกี่ยวกับตัวบุคคล	ปัจจัยเกี่ยวกับงานที่ทำ	ปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม
อายุ	ความซับซ้อนของงาน	อุณหภูมิ
เพศ	ระยะเวลาของการทำงาน	ความชื้น
ความสมบูรณ์ของร่างกาย	ความหนักของงานทางร่างกาย	ลม
รูปร่างลักษณะร่างกาย	ความหนักของงานทางสมอง	ความยาวของคลื่นรังสี
สุขภาพอนามัย	ความหนักของงานทางการจดจำ	รังสีจากดวงอาทิตย์
ความเคยชินกับอากาศร้อน	ความหนักของงานทางความรู้สึก	ฝุ่น
อาหารและน้ำ	ความชำนาญที่ต้องการ	ละอองในอากาศ
แรงจูงใจ		ก๊าซ ไอระเหย
การฝึกหัด		ความดันบรรยากาศ
ความสามารถทางด้านร่างกาย		เสื้อผ้าที่สวมใส่
ความสามารถทางสมอง		
ความสามารถทางอารมณ์ จิตใจ		
ลักษณะทางเผ่าพันธ์ ชนชาติ		

รายละเอียดของชนิดและแหล่งกำเนิดความร้อน (กิตติ อินทรานนท์, 2538) มีดังนี้

1. ความร้อนจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหาร

ความร้อนนี้เป็นความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต ไขมันและโปรตีนภายในร่างกาย เรียกว่า "กระบวนการเมตาโบลิซึม (Metabolism)" ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ เนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ

สารอาหารจะถูกเผาผลาญในเนื้อเยื่อได้ต้องอาศัยออกซิเจนเข้ามาช่วยในกระบวนการทางเคมี โดยออกซิเจนจากบรรยากาศจะถูกส่งผ่านเข้าไปโดยการหายใจเข้าและอาศัยวงจรการหมุนเวียนโลหิตในการส่งผ่านออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อเพื่อเผาผลาญสารอาหารทำให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ กากไนโตรเจนและได้พลังงานออกมา พลังงานส่วนหนึ่งจะถูกนำมาใช้ในกิจกรรมการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่ก็มีพลังงานที่เหลือส่วนหนึ่งถูกปลดปล่อยออกมาในรูปของความร้อน กระบวนการดังกล่าวนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาไม่ว่าจะทำงานหรือพักซึ่งสามารถวัดได้จากปริมาณออกซิเจนที่หายใจเข้าไป กระบวนการในการหายใจเปรียบได้เช่นเดียวกับกระบวนการในปฏิกิริยาการสันดาปกลูโคสในชั้นบรรยากาศ ดังสมการต่อไปนี้

$$C_6H_2O_6 + 6O_2 \xrightarrow{\text{heat}} 6CO_2 + 6H_2O + \text{พลังงานความร้อนและแสง}$$

กระบวนการหายใจจะเกิดขึ้นเช่นเดียวกับปฏิกิริยาการสันดาปของกลูโคสกับออกซิเจน แต่สำหรับกระบวนการหายใจจะต้องอาศัยพลังงานกระตุ้นที่ไม่สูงพอที่จะทำให้เซลตาย ฉะนั้นในการหายใจจึงมีเอนไซม์เป็นตัวไปลดพลังงานกระตุ้นให้น้อยลงทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์และเพื่อนำพลังงานนั้นไปใช้ทำงานด้านต่างๆ นอกเหนือไปจากพลังงานความร้อนที่ให้ความอบอุ่น ซึ่งแต่ละขั้นของปฏิกิริยาการหายใจจะมีเอนไซม์เป็นตัวควบคุม พลังงานที่ได้จากการหายใจจะเก็บไว้ในรูปของอินทรีย์สารที่มีพลังงานสูง และเป็นสารที่พร้อมจะแตกตัวเพื่อปลดปล่อยพลังงานออกมาเมื่อเซลล์ต้องการ สารนี้ก็คือ ATP (Adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นอนุมูลของฟอสเฟตที่ต่อกันด้วยพันธะที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานทำให้มีพลังงานศักย์สูง ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปได้มากที่สุดนั้นจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการทำงานและชนิดของงาน กล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน ความเมื่อยล้าของร่างกาย และสภาพบรรยากาศแวดล้อมทั่วไป (จรวยพร ธรณินทร์, 2521) ความร้อนที่ผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับประเภทของสารอาหารที่รับประทานเข้าไปโดยดูจากค่าความจุความร้อน (caloric value) ของสารอาหารในแต่ละประเภทที่สามารถผลิตความร้อนได้ไม่เท่ากัน เช่น อาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตนั้นมีค่าความจุความร้อนเท่ากับ 1.0 แสดงว่าในออกซิเจน 1 ลิตร จะ

สามารถผลิตความร้อนได้ 5.047 กิโลแคลอรี แต่ถ้าเป็นไขมันที่มีค่าความจุความร้อนเท่ากับ 0.7 นั้นแสดงว่าออกซิเจนปริมาณ 1 ลิตร จะสามารถผลิตความร้อนได้ เพียง 4.6 กิโลแคลอรี

นิวัติ เทพาวราพฤกษ์ (2537) อ้างถึงโดยจุฬาพร ตามใจจิตร (2538) ได้กล่าวถึงการสันดาปสารอาหาร 2 แบบ ที่ก่อให้เกิดพลังงานของกล้ามเนื้อ ซึ่งมาจากสาร ATP ที่สร้างมาจากไมโตครอนเดรียของเส้นใยกล้ามเนื้อ ดังนี้คือ

1.1 การเผาผลาญสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Metabolism)

เป็นการสันดาปที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ของกล้ามเนื้อเพราะเกิดขึ้นในขณะที่กล้ามเนื้ออยู่ในภาวะขาดเลือด สารอาหารที่ใช้ก็คือไกลโคเจนจะทำให้ได้ ATP จำนวนน้อย ซึ่งจะเกิดขึ้นในงานหนัก เช่น การยกน้ำหนักเป็นระยะเวลานานๆ การเคลื่อนไหวที่รวดเร็วในระยะเวลาสั้นๆ กระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดกรดแลคติคที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในเซลกล้ามเนื้อและต้องการให้ร่างกายขจัดออกไปทางระบบไหลเวียนเลือด

1.2 การเผาผลาญสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Metabolism)

เป็นการสันดาปที่เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์กับออกซิเจนในกระแสโลหิตและได้ ATP ออกมาจำนวนมาก ซึ่งจะเกิดขึ้นกับงานเบาๆ ที่ทำอย่างต่อเนื่องช้าๆ มีจังหวะที่เหมาะสม โลหิตจะสามารถไหลเวียนไปหล่อเลี้ยงกล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อได้ทันตลอดเวลา ร่างกายสามารถรับสารอาหารและระบายของเสียจากกระบวนเผาผลาญสารอาหารออกมาได้อย่างต่อเนื่อง เราสามารถรู้การใช้พลังงานที่ต้องการออกซิเจนได้จากจำนวนสูงสุดของออกซิเจนที่สามารถรับเข้าไปได้ ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการใช้ออกซิเจนนั้นเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ระดับความสามารถของการใช้ออกซิเจนสูงสุด อายุ (Astrand และ Rodahl, 1977 ; กิตติ อินทรานนท์, 2531) เพศ (Drinkwater และ คณะ, 1979) น้ำหนักร่างกายและปริมาณไขมัน ชนิดของการทำงาน ลักษณะทางพันธุกรรม (NIOSH, 1981)

พีระพงศ์ บุญศิริ (2521) ได้ให้ความหมายของปริมาณการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption : VO_2) ไว้ว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจน คือ ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายรับไปให้เซลล์ต่อนาที มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที หรือมิลลิลิตร/กิโลกรัม-นาที ในขณะทำงานปริมาณการใช้ออกซิเจนจะแปรตามความหนักเบาของการทำงาน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านอายุ เพศ และสภาพร่างกาย

2. ความร้อนจากการทำงาน

ในขณะทำงานหรือออกกำลังกายร่างกายจะต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้นเพื่อใช้ในการสันดาปอาหาร (Fox และ Mathew, 1981) ทำให้ร่างกายต้องผลิตความร้อนเพิ่มขึ้น กระบวนการการใช้พลังงานของเซลล์สามารถอธิบายได้คร่าวๆ ดังนี้ คือ เมื่อเซลล์ต้องการใช้พลังงานในรูปต่างๆ เช่น ใช้ในการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ ก็จะทำการแตกพันธะที่มีพลังงานสูงในสาร ATP ออกและปล่อยพลังงานออกมา เมื่อ ATP เสียฟอสเฟตไป 1 หมู่ ก็จะกลายเป็นสาร ADP (Adenosine diphosphate) ซึ่งสามารถเกิดกระบวนการไกลโคไลซิสรวมกับกลูโคสแล้วกลับมาเป็นสาร ATP อีก โดย 1 ลิตรของออกซิเจนโดยประมาณจะเท่ากับพลังงาน 5 กิโลแคลอรี เพราะฉะนั้นอาจสรุปได้ว่าอัตราการใช้ออกซิเจนเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความต้องการใช้ออกซิเจน (energy demand) เมื่อกล้ามเนื้อเริ่มทำงานก็จะมีการเพิ่มกระบวนการเผาผลาญสารอาหารและการเพิ่มปริมาณการใช้ออกซิเจนและแหล่งพลังงาน การทำงานอย่างต่อเนื่องนั้นจะทำให้ระบบการหายใจทำงานเพิ่มขึ้นและเพิ่มปริมาณการไหลของเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อต้องใช้ (Astrand และ Rodahl, 1977)

Grandjean (1988) ได้กล่าวว่าการทำงานในที่ที่มีอุณหภูมิสูงก็จะเป็นการเพิ่มภาระงานอันเนื่องมาจากความร้อนด้วย และดัชนีที่นิยมใช้ในการวัดภาระงานซึ่งก่อให้เกิดความเครียด คือ การวัดออกมาในรูปของพลังงานที่ใช้ในการทำงานและอัตราการเต้นของหัวใจ รวมถึงอัตราการใช้ออกซิเจนด้วย (NIOSH, 1981)

3. ความร้อนจากสิ่งแวดล้อม

ความร้อนนี้เป็นความร้อนที่ร่างกายได้รับมาจากสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่อยู่รอบตัว เช่น บรรยากาศ เครื่องจักรต่างๆ ในกระบวนการผลิต เป็นต้น ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมนี้จะมีผลต่อร่างกายมากเนื่องจากในสภาวะความร้อนสูงนั้นนอกจากร่างกายจะได้รับภาระจากงานจากการทำงานหนัก (work load) แล้วร่างกายยังต้องรับภาระความร้อน (heat load) จากสภาพแวดล้อมเพิ่มขึ้นด้วย แหล่งกำเนิดความร้อนจากสภาพแวดล้อมนี้สามารถแบ่งออกได้สองแหล่ง อันได้แก่

3.1 ความร้อนจากดวงอาทิตย์

ส่วนมากจะเป็นการทำงานในที่กลางแจ้งที่ต้องสัมผัสกับความร้อนจากรังสีของแสงอาทิตย์โดยตรง โดยกลุ่มคนที่เกี่ยวข้องกับอาชีพนี้ เช่น กรรมกร คนงานก่อสร้าง ชาวนา นักกีฬา ทหาร เป็นต้น

3.2 ความร้อนจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม

ส่วนมากจะมีแหล่งกำเนิดที่มาจากโรงงานซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความร้อนในกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักร เช่น เตาหลอม หม้อน้ำ มอเตอร์ หม้อแปลง เป็นต้น

ลักษณะปัญหาของแหล่งกำเนิดความร้อน

สาคริน์ อรรควุฒิวาณิชย์ (2532) ได้แบ่งลักษณะปัญหาของแหล่งกำเนิดความร้อนจากสภาพแวดล้อม ออกได้เป็นสองลักษณะด้วยกัน คือ

1. อากาศร้อน-แห้ง (Hot-Dry หรือ Sensible heat)

ความร้อนนี้เป็นความร้อนที่ปล่อยออกมาโดยไม่มีความชื้นออกมาด้วย ส่วนใหญ่จะเป็นความร้อนที่มาจากการแผ่รังสี จึงไม่สามารถใช้การปรับอากาศเข้ามาช่วยในบริเวณทำงานได้แต่สามารถแก้ไขได้โดยในช่วงพักให้เคลื่อนย้ายพนักงานไปอยู่ในบริเวณอื่นที่มีการปรับความเย็น และให้พนักงานได้มีระยะเวลาพักอันเหมาะสม อุตสาหกรรมที่มีสภาพแวดล้อมลักษณะดังกล่าวนี้ ได้แก่ อุตสาหกรรมทำแก้ว ทำกระดาษ หลอมโลหะ เป็นต้น

2. อากาศร้อน-ชื้น (Warm-Moist หรือ Latent heat)

ความร้อนนี้เป็นความร้อนที่ปล่อยออกมาโดยมีความชื้นออกมาด้วย จึงทำให้ปริมาณความชื้นในอากาศสูง ส่วนใหญ่จะเป็นความร้อนที่มาจากการพาความร้อนและมาจากการทำงาน ปัญหานี้เป็นปัญหาที่หนัก ทั้งนี้เนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูงนั้นจะทำให้การระเหยของเหงื่อลดลงจึงทำให้ร่างกายไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกไปสู่ภายนอกได้ (เนื่องจากความร้อนไม่ถูกระเหยไปพร้อมกับเหงื่อจึงทำให้ร่างกายสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น) อาจสามารถแก้ไขได้โดยใช้การระบายอากาศและการออกแบบระบบปรับอากาศเข้ามาช่วย โดยมีนักการยศาสตร์เป็นผู้ประเมินสภาพต่างๆ ของปัญหาแล้วทำการหาแนวทางแก้ไขต่อไป อุตสาหกรรมที่มีสภาพแวดล้อมลักษณะดังกล่าวนี้ ได้แก่ อุตสาหกรรมทำกระดาษ การผลิตไม้อัดแผ่น เป็นต้น

กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

ร่างกายของมนุษย์มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหนังหรือเสื้อผ้ากับสิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อควบคุมอุณหภูมิภายในร่างกายให้อยู่ในระดับคงที่ ประมาณ 37^{o}C การควบคุมอุณหภูมิภายในสามารถทำได้ในช่วงแคบๆ โดยการควบคุมการไหลของเลือดที่นำเอาความร้อนที่ผลิตโดย

กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อภายในไปยังส่วนที่เย็นกว่าและส่งความร้อนออกไปโดยการนำ การพา การแผ่รังสีความร้อนและการระเหยของเหงื่อ โดยกระบวนการทั้งสี่นั้นมีความแตกต่างกันดังนี้ คือ

1. การนำความร้อน (heat conduction) คือ การส่งผ่านพลังงานจากโมเลกุลของวัตถุในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยจะถ่ายเทเคลื่อนผ่านสสารไปยังผิวของร่างกายที่สัมผัสอยู่ การนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของวัตถุ ระยะเวลาที่สัมผัสกับวัตถุและชนิดของวัตถุ เช่น ถ้าวัตถุนั้นเป็นโลหะก็จะนำความร้อนได้ดีกว่าไม้ เป็นต้น การถ่ายเทความร้อนนี้อาจน้อยลงเมื่อผ่านตัวกลางที่เป็นฉนวนหรืออากาศ กระบวนการถ่ายเทความร้อนนี้เกิดขึ้นน้อยมาก ไม่เกินร้อยละ 1 - 2 ของการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดของร่างกาย

2. การพาความร้อน (heat convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งโดยอาศัยของไหลเป็นสื่อพาไป เมื่ออากาศได้รับความร้อนแล้วขยายตัวและสามารถเคลื่อนที่พาเอาความร้อนไปด้วยจึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างผิวหนังกับอากาศรอบๆตัว กระบวนการนี้เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิระหว่างผิวหนังกับอากาศภายนอกและการเคลื่อนที่ของอากาศที่ผิวหนังซึ่งสามารถเกิดได้ในสองลักษณะ โดยลักษณะแรกมีแรงมากระทำให้เกิดการพาความร้อน เรียกว่า "การพาความร้อนชนิดบังคับ (forced-convection)" ส่วนลักษณะที่สองนั้นเกิดจากการที่มีอุณหภูมิและความหนาแน่นต่างกันทำให้ของไหลที่มีอุณหภูมิสูงไหลเข้ามาแทนที่ของไหลอุณหภูมิต่ำ เรียกว่า "การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (natural-convection)"

3. การแผ่รังสีความร้อน (heat radiation) เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่เป็นไปตามทฤษฎีของควอนตัม ที่กล่าวว่า "วัตถุใดถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่าองศาสัมบูรณ์ก็จะมีการแผ่รังสีออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า" วัตถุในแต่ละชนิดนั้นจะมีช่วงความยาวคลื่นความร้อนที่แตกต่างกันจึงทำให้ความสามารถในการดูดกลืนความร้อนและการกระจายความร้อนแตกต่างกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นโดยการสั่นของโมเลกุลของพื้นผิวที่ร้อนมีความเร็วเท่ากับความเร็วของแสงจะออกมาจากพื้นผิวร้อนไปยังบริเวณที่เย็นกว่า เมื่อรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ไปกระทบเข้ากับร่างกายหรือวัตถุอื่นๆ ก็จะรบกวนโมเลกุลของพื้นผิวนั้นๆ และทำให้อุณหภูมิสูงเพิ่มขึ้น กระบวนการนี้เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิเฉลี่ยของสิ่งแวดล้อมของแข็งต่ออุณหภูมิผิวหนัง

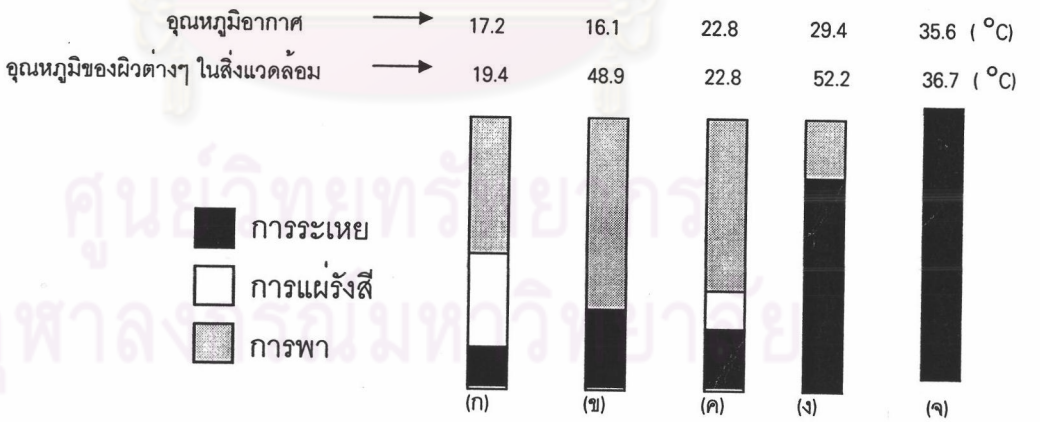
4. การระเหยของความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเกิดจากการกลายเป็นไอของของเหลวและระเหยออกไปจากผิวพร้อมกับดึงเอาความร้อนแฝงออกจากของเหลวไปด้วย การถ่ายเทความร้อนวิธีนี้เกิดขึ้นมากกับร่างกายเนื่องจากความร้อนจะสูญเสียไปพร้อมกับการขับเหงื่อ

ของร่างกาย กระบวนการระเหยความร้อนนี้เป็นฟังก์ชั่นของความเร็วอากาศและความแตกต่างของความดันไอระหว่างผิวหนังกับอากาศ

ทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีนั้นอาจเกิดขึ้นเพียงกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งหรือส่วนใหญ่มักเกิดขึ้นร่วมกันในหลายๆ กระบวนการก็ได้

ถ้าสภาพแวดล้อมรอบตัวเรามีอุณหภูมิสูงกว่าร่างกายของมนุษย์แล้วก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากสิ่งแวดล้อมมาสู่ตัวเราได้ด้วยกระบวนการทั้งสามกระบวนการที่ได้กล่าวถึงมาแล้ว แต่ในทางกลับกัน ถ้าร่างกายของคนเรามีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อมก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากตัวเราไปสู่สิ่งแวดล้อมโดยการระเหยความร้อนได้เช่นเดียวกัน โดยในสภาวะร่างกายสบายความร้อนที่ผลิตขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารในร่างกาย ประมาณ 25% จะถูกส่งผ่านผิวหนังไปยังที่เย็นกว่าโดยการพาความร้อน อีก 50% จะออกมาในรูปการแผ่รังสีความร้อน และเหลืออีก 25% โดยการระเหยออกมาทางเหงื่อผ่านผิวหนังหรือการหายใจออกมา มีเพียงเล็กน้อยที่ออกมาในรูปของการนำความร้อน

ในรูปที่ 2.1 แสดงถึงสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิของอากาศและอุณหภูมิของพื้นผิวต่างๆ ในสภาพแวดล้อมต่างกันทำให้เปอร์เซ็นต์การถ่ายเทความร้อนในสามกระบวนการแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เมื่ออากาศร้อนและมีความชื้นสูงแล้วจะทำให้การระเหยของเหงื่อลดลง



รูปที่ 2.1 เปอร์เซ็นต์ของการสูญเสียความร้อนของกระบวนการระเหย การแผ่รังสี และการพาความร้อนโดยอุณหภูมิอากาศและพื้นผิวแวดล้อมที่แตกต่างกัน

(สราวุธ สุธรรมาสา, 2534)

กฎของความสมดุลของความร้อน

ในขณะที่ร่างกายได้รับความร้อนจากสิ่งแวดล้อมและจากการเผาผลาญอาหารไปเป็นพลังงาน ร่างกายคนเราก็จะพยายามที่จะถ่ายเทความร้อนบางส่วนที่รับเข้ามากลับออกไปสู่สภาพแวดล้อมเช่นเดียวกัน โดยใช้การขับถ่ายความร้อนออกไปพร้อมกับการระเหยของเหงื่อ เหงื่อจะทำหน้าที่นำพาเอาความร้อนจากภายในร่างกายออกมาสู่บริเวณผิวหนังแล้วเหงื่อเหล่านี้จะระเหยไปโดยใช้ความร้อนของร่างกายในขณะนั้นเป็นตัวระเหยเหงื่อทำให้ความร้อนในร่างกายลดลง โดยเหงื่อ 1 ลิตร ต้องใช้ความร้อน 500 - 600 กิโลแคลอรี ในการที่จะระเหยออกไปในอากาศ

ในสภาพอากาศสบายๆ นั้นร่างกายจะถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารออกมาสู่บรรยากาศที่เย็นกว่าโดยการพาความร้อนประมาณร้อยละ 25 โดยกระบวนการแผ่รังสีไปยังพื้นผิวที่เย็นกว่าในบริเวณโดยรอบและวิธีอื่นๆ อีกประมาณร้อยละ 50 และส่วนที่เหลือจะมาจากกระบวนการระเหยของเหงื่อและการหายใจ แต่ในการหายใจนั้นจะสูญเสียความร้อนน้อยเมื่อเทียบกับกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากร่างกายทั้งหมด ดังนั้นจะพิจารณาเฉพาะส่วนหลักๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการสมดุลความร้อนพื้นฐานได้ดังนี้ (กิตติ อินทรานนท์, 2538; บุษบา พฤกษ์ธาราธิกุล, 2530; Olesen และ คณะ, 1995)

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

โดยที่ S คือ การสะสมความร้อนในร่างกาย ซึ่งจะมีค่าเป็น 0 เมื่อมีความสมดุล
- ถ้า S เป็น + แสดงว่ามีการสะสมเพิ่มขึ้น
- ถ้า S เป็น - แสดงว่าสูญเสียความร้อน มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ชั่วโมง

M คือ ความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากกระบวนการเมตาโบลิซึมตามลักษณะงาน มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ชั่วโมง

R คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสี มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ชั่วโมง
- ถ้า R เป็น + แสดงว่าเป็นการรับความร้อนเข้าสู่ร่างกาย
- ถ้า R เป็น - แสดงว่าเป็นการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย

C คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพา มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ชั่วโมง
- ถ้า C เป็น + แสดงว่าเป็นการรับความร้อนเข้าสู่ร่างกาย
- ถ้า C เป็น - แสดงว่าเป็นการสูญเสียความร้อนออกจากร่างกาย

E คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการระเหย มีหน่วยเป็นกิโลแคลอรี/ชั่วโมง

ระบบควบคุมความร้อนของร่างกาย

การทำงานในสภาวะความร้อนสูงนั้นร่างกายจะได้รับความร้อนจากสาเหตุหลักสองประการด้วยกัน คือ พลังงานจากการเผาผลาญสารอาหารในช่วงทำงานและพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมในการทำงาน

เมื่อร่างกายได้รับความร้อนหรือสร้างความร้อนขึ้นก็จำเป็นจะต้องถ่ายเทออกไปเพื่อรักษาสมดุลของอุณหภูมิภายในร่างกายไว้ โดยปกติแล้วอุณหภูมิแกนของร่างกายจะอยู่ระหว่าง 96°F ถึง 104°F และเมื่อวัดอุณหภูมิทางทวารหนัก (Rectum temperature) จะอยู่ที่ 98.6°F (37°C) แต่ถ้าวัดอุณหภูมิทางปาก (Oral temperature) ก็จะอยู่ที่ 98.1°F (36.7°C) อุณหภูมิร่างกายนั้นจะแปรผันไปได้ตามสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ 100% จึงทำให้ร่างกายไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกไปได้หมด จึงเกิดความไม่สมดุลของความร้อนขึ้นในร่างกายอันจะนำไปสู่ปัญหาสุขภาพและการเจ็บป่วยของคนงานต่อไป เพราะฉะนั้นในการทำงานหนักมากๆ จนร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึง 104°F (40°C) อุณหภูมิร่างกายก็จะถูกปรับให้ลดลงมาต่ำกว่า 96°F (35.6°C) โดยใช้ระบบกลไกการควบคุมความร้อนของร่างกายในสมองส่วนไฮโปธาลามัส (Hypothalamus) เป็นศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย (Thermostatic center) ซึ่งประกอบด้วยสองส่วน คือ ส่วนหน้าและส่วนหลัง โดยส่วนหน้าจะมีหน้าที่เป็นศูนย์ระบายความร้อนของร่างกาย ถ้าร่างกายเสียส่วนนี้ไปจะทำให้เกิดความผิดปกติของร่างกายได้ง่ายโดยเฉพาะกับคนงานที่ทำงานในที่มีความร้อนสูงมากๆ และในส่วนหลังของไฮโปธาลามัสนั้นจะใช้เป็นศูนย์รักษาความร้อนซึ่งคอยทำหน้าที่ให้ร่างกายอบอุ่นอยู่เสมอ

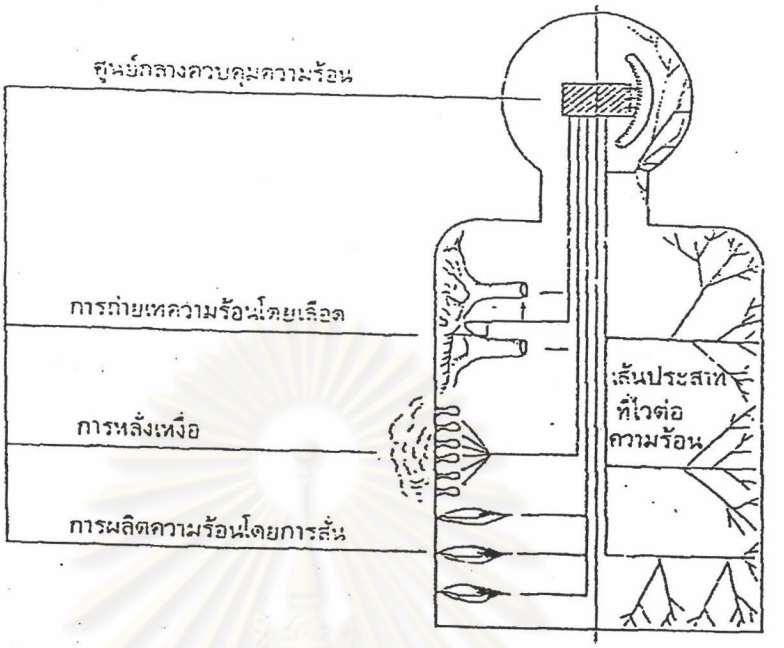
ระบบควบคุมความร้อนของร่างกาย (สุวดี ทวีสุข, 2535) แบ่งออกได้เป็นสองลักษณะ คือ

1. <u>ระบบควบคุมความร้อนทางเคมี</u> (Chemical regulation)

ระบบนี้จะเน้นไปทางการควบคุมกระบวนการเมตาโบลิซึมของร่างกาย เช่น ความร้อนจากการทำงานของกล้ามเนื้อ การควบคุมโดยฮอร์โมน (อิปิเนฟรินหรือนอร์อิปิเนฟริน) และการย่อยอาหาร เป็นต้น

2. <u>ระบบควบคุมทางกายภาพ</u> (Physical regulation)

ระบบนี้จะเน้นไปทางการแลกเปลี่ยนความร้อนทางฟิสิกส์ เช่น การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อน การระเหยความร้อน การนำความร้อน การหายใจและระบบการหมุนเวียนต่างๆ ภายในร่างกาย รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการควบคุมอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่



รูปที่ 2.2 กระบวนการควบคุมอุณหภูมิในร่างกายให้คงที่

(สราวุธ สุธรรมาสา, 2534)

เมื่อร่างกายได้รับความร้อนในช่วงแรกๆ นั้น ร่างกายยังไม่สามารถปรับตัวได้ทันจะเกิดความรู้สึกไม่สบายกายและใจ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดต่ำลง ต่อจากนั้นหลังจากที่ได้สัมผัสกับความร้อนนานประมาณ 7 วัน แล้วร่างกายจะสามารถปรับตัวให้เข้ากับความร้อนได้และเกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ของร่างกาย เช่น วงจรการไหลเวียนของโลหิต การเต้นของหัวใจ การสูญเสียเหงื่อ และอุณหภูมิร่างกาย เป็นต้น

ดัชนีความเค้นแห่งความร้อน (Heat Stress Index)

ในการควบคุมป้องกันอันตรายจากความร้อนนั้น สิ่งแรกที่เราควรดำเนินการก็คือการหาระดับความรุนแรงหรือปริมาณความมากน้อยของความร้อนนั้น โดยจะใช้ดัชนีความเค้นแห่งความร้อนมาประเมินสภาวะความร้อนของสถานที่ทำงานซึ่งจัดเป็นการประเมินภาระงานภายนอก ดัชนีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นดัชนีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายและสามารถตรวจวัดได้ง่าย คือ ดัชนีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก (wet-bulb globe temperature หรือ WBGT) ความเร็วลมและเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ รวมถึงสภาพแวดล้อมอื่นๆ และรายละเอียดของงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

1. ดัชนีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก (WBGT)

ค่าดัชนีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียกเป็นค่าที่คำนวณหาได้จากสภาพความร้อนอื่นร่วมกัน ได้แก่ อุณหภูมิกระเปาะดำ อุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ค่าดัชนีที่วัดได้จากวิธีนี้เป็นวิธีที่ถูกแนะนำให้ใช้กันมากที่สุดทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและใช้ในอุตสาหกรรมกันมาก สมการหาค่าดัชนีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก (WBGT) (ปีติ พูนไชยศรี, 2534) แสดงได้ดังนี้

- กรณีที่อยู่ในร่ม $WBGT = 0.7\ T_{nwb} + 0.3\ T_g$
- กรณีที่อยู่กลางแจ้ง $WBGT = 0.7\ T_{nwb} + 0.2\ T_g + 0.1\ T_{na}$

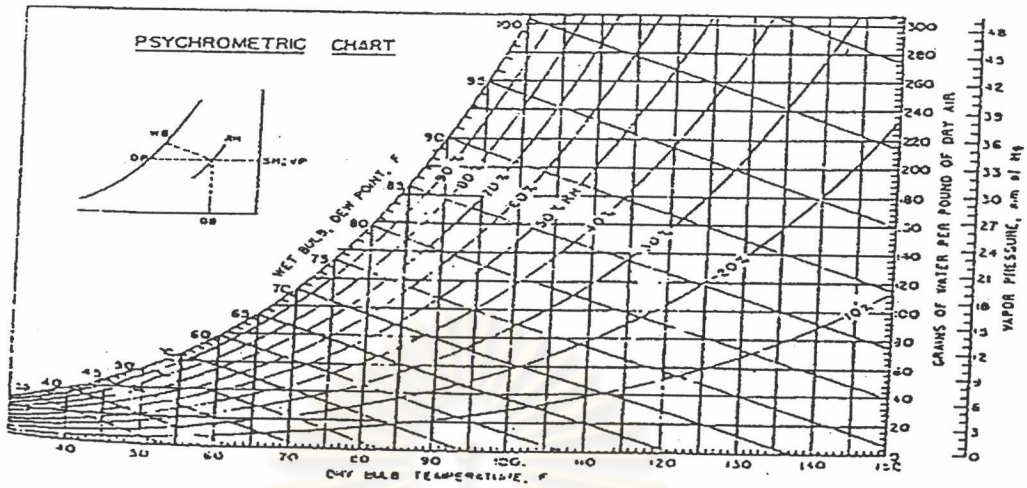
ค่าดัชนีดังกล่าวนี้สามารถถูกนำมาประเมินหาค่าความร้อนในสภาพแวดล้อมได้โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ คือ เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะแห้ง (Natural dry bulb, T_{na}) เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียก (Natural wet bulb, T_{nwb}) และเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะดำ (Globe thermometer, T_g) ซึ่งเป็นเทอร์โมมิเตอร์ที่เสียบเข้าไปในโลหะทองแดงทรงกลมที่เคลือบผิวด้วยสารสีดำด้าน ภายในทรงกลมกลวงมีความยาวเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ปลายอีกด้านหนึ่งโผล่ออกมาสำหรับอ่านค่าอุณหภูมิของเทอร์โมมิเตอร์

2. ความเร็วลม

ความเร็วลมนั้นถูกวัดโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม (flow meter) ซึ่งจากสภาพเงื่อนไขของเครื่องที่ไม่สามารถวัดความเร็วลมที่ต่ำได้ ฉะนั้นจึงใช้สำหรับวัดเฉพาะความเร็วลมสูงในหน่วยงานควบคุมเตาหลอมและหน่วยงานเทน้ำเหล็กเท่านั้น

3. เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์

เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์มีผลต่อการระเหยของเหงื่อ ถ้าความชื้นในอากาศต่ำแล้วเหงื่อจะออกมากและระเหยได้เร็วช่วยระบายความร้อนออกไปได้มาก แต่ถ้าความชื้นในอากาศสูงจะทำให้เหงื่อระเหยได้ยาก เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์นั้นสามารถหาได้โดยอ้อมจากเครื่องวัดไซโครมิเตอร์ โดยนำมาหาจุดตัดของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้งในแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิไซโครเมตริกเพื่อใช้หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

(Powell และ Hosey, 1965)

4. <u>สภาพแวดล้อมอื่นๆ</u>

สภาพแวดล้อมอื่นๆ ได้แก่ ระดับความเข้มของแสงสว่างสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดความเข้มของแสงสว่าง และระดับเสียงสามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือวัดระดับเสียง

5. <u>รายละเอียดของงาน</u>

รายละเอียดของงานนั้นถูกใช้ประเมินให้ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวกับงานที่ทำ โดยในแต่ละหน่วยงานนั้นจะมีรายละเอียดของงานที่แตกต่างกัน รายละเอียดของงานประกอบด้วยลักษณะการทำงาน กำหนดการทำงาน-การพัก สถานที่ทำงานและสถานที่พัก สภาพของสถานที่ทำงาน และอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานซึ่งมีผลต่อภาระความร้อนที่เกิดขึ้น โดยจะนำมาพิจารณาร่วมกับการประเมินผลที่ได้จากสภาวะความร้อนของแต่ละหน่วยงาน

ดัชนีความเครียดแห่งความร้อน (Heat Strain Index)

ความเครียดแห่งความร้อนเป็นผลที่เกิดขึ้นทางสรีรวิทยาและทางจิตใจของคนงานซึ่งใช้ในการประเมินภาระงานภายใน อันเนื่องมาจากการกระทำของสิ่งแวดล้อมในการทำงาน ในทางปฏิบัติของทางอุตสาหกรรมแล้วนั้นยังคงต้องใช้ผลลัพธ์ดังกล่าวเพื่อมาประกอบในการพิจารณาประเมินสภาวะความร้อนด้วย ดัชนีความเครียดดังกล่าวสามารถวัดค่าได้ดังนี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ความเครียดทางจิตใจ (Psychological responses)

ความเครียดดังกล่าวสามารถถูกประเมินได้โดยใช้แบบสอบถามความรู้สึก การให้คะแนนระดับความรุนแรงของความร้อน

2. ความเครียดทางสรีรวิทยา (Physiological responses)

ความเครียดดังกล่าวนี้สามารถแสดงผลตอบสนองออกมาทางร่างกายได้โดยตรง ทำให้เราได้รับทราบหรือสามารถวัดค่านั้นออกมาได้ ความเครียดเหล่านี้ ประกอบด้วย

2.1 อัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate)

อัตราการเต้นของหัวใจเป็นความเครียดอันเกิดขึ้นเนื่องจากการบีบตัวของหัวใจเพื่อเพิ่มปริมาณการหมุนเวียนโลหิตในร่างกาย การวัดนี้จะใช้เครื่องมือวัดอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานพร้อมกับการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนโดยใช้เครื่องมือชื่อเรียกว่า "COSEMED K4" ซึ่งสามารถทำการประเมินได้โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานของการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานเป็นร้อยละ (%HRW) โดย %HRW = DHR*100 / {(1/3)*(220-อายุ)} กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานจากในขณะพัก (DHR) และการใช้วิธีการของโวกต์ (Vogt's Method) ที่อ้างถึงโดยกิตติ อินทรานนท์ (2538) ซึ่งได้แบ่งภาระการตอบสนองออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ภาระการตอบสนองด้วยการเต้นของหัวใจจากสภาวะความร้อน หรือ TEHB (thermal extra heart beat) และภาระการตอบสนองด้วยการเต้นของหัวใจจากการทำงาน หรือ MEHB (motor extra heart beat) ซึ่งมีสมการหาค่าได้ดังนี้

$$TEHB = \frac{P_3 + P_4 + P_5}{3} - HRR$$

$$MEHB = (P_1 + P_2 - P_3) - \frac{(P_3 + P_4 + P_5)}{3}$$

เมื่อ HRR คือ อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยก่อนการทำงาน (ครั้ง/นาที)

P_1, P_2, P_3, P_4, P_5 คือ อัตราการเต้นของหัวใจในช่วง 30 วินาที ก่อนสิ้นสุดนาทีที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ในขณะพักเมื่อเลิกการทำงาน

ค่าผลรวมของทั้งสองส่วน (TOTEHB: total extra heart beats) ซึ่งจะเป็นภาระการตอบสนองด้วยการเต้นของหัวใจทั้งหมด

สำหรับเกณฑ์การพิจาณาว่าการทำงานจะหนักเกินภาระแล้วหรือไม่นั้น Vogt (1986) ได้เสนอแนะว่าค่าภาระการตอบสนองด้วยการเต้นของหัวใจจากภาระความร้อน หรือ TEHB (thermal extra heart beat) และค่าภาระการตอบสนองด้วยการเต้นของหัวใจจากการทำงาน

หรือ MEHB (motor extra heart beat) ตัวใดตัวหนึ่งไม่ควรเกิน 20 ครั้ง/นาที และค่าผลรวมของภาระการตอบสนองทั้งสองไม่ควรเกิน 30 ครั้ง/นาที (Hettinger และ คณะ, 1968)

2.2 อัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกาย (oxygen uptake)

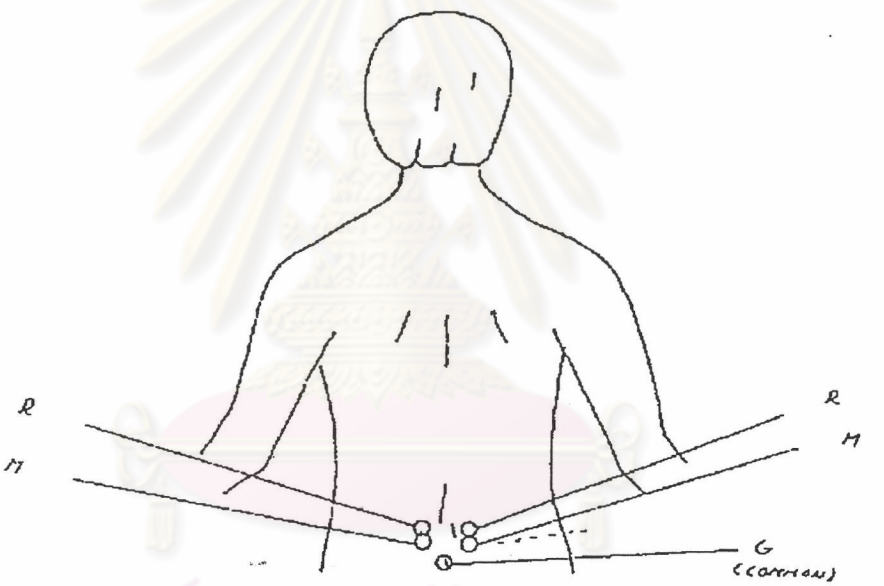
การใช้ออกซิเจนของร่างกายเป็นสัดส่วนกับอัตราการเผาผลาญสารอาหารในร่างกายเพื่อให้ได้พลังงานและเกิดความร้อนเป็นผลตามมา ดังนั้นอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายจึงเป็นดัชนีของการเกิดความร้อนในร่างกายได้ สำหรับในการเปรียบเทียบดัชนีความร้อนของงานสองลักษณะงานที่มีภาระงานที่ใกล้เคียงกันแต่แตกต่างกันที่สภาพความร้อนและตัวพนักงาน เพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่างบุคคลจึงใช้วิธีการเทียบสัดส่วนระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนในขณะทำงานกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละคนมาประเมินเพื่อหาสัดส่วนร้อยละของการใช้ออกซิเจนสูงสุดของแต่ละบุคคล (%VO_2max)

อัตราการใช้ออกซิเจนในขณะทำงานนั้นสามารถวัดผลได้จากเครื่องวัดอัตราการใช้ออกซิเจน (COSMED K4, COSMED s.r.l, Italy) ได้โดยตรง โดยจะทำการวัดทุกๆ 15 วินาที และอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดนั้นจะวัดโดยการใช้วิธีการโดยอ้อมที่ได้เสนอไว้โดย Kamon และ Ayoub (1976) ที่อ้างถึงโดยงามจิตต์ บริบาลบุรีภัณฑ์ (2536) โดยวิธีนี้จะให้ผู้ถูกทดสอบทำการปั่นจักรยานเออร์โกเมตรีย์แล้วเพิ่มระดับความหนักของงาน 3-4 ระดับ ระดับละ 3 นาที แล้ววัดอัตราการเต้นของหัวใจที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงานเพื่อนำไปสร้างสมการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนกับอัตราการเต้นของหัวใจ แล้วหลังจากนั้นจึงใช้สมการหาอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดซึ่งคำนวณได้จาก 220 - อายุ (ปี) มาทำนายอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด

2.3 การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (electromyography: EMG)

การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างหรือการวัดภาระงานของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc) การวัดค่าดังกล่าวนั้นเป็นผลสืบเนื่องมาจากงานในบางลักษณะเป็นงานที่มีลักษณะงานซ้ำซาก (repetitive work) ซึ่งทำให้ผลการวัดค่าอัตราการใช้ออกซิเจนนั้นไม่สามารถแสดงผลให้เห็นออกมาได้อย่างชัดเจน ผลจากการตรวจวัดค่าที่ได้จะเป็นภาระของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเครียดของโครงสร้างกล้ามเนื้อและกระดูกซึ่งแสดงให้เห็นถึงความล้าที่เกิดขึ้นกับบริเวณหลังส่วนล่าง โดยทำการประเมินหาสัดส่วนร้อยละของคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างในขณะทำงานกับในสภาวะสูงสุด (%Sub-MVE) ถ้าหากค่าที่ได้เกินเกณฑ์ความปลอดภัยที่กำหนดไว้ก็สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อหลังส่วนล่างได้

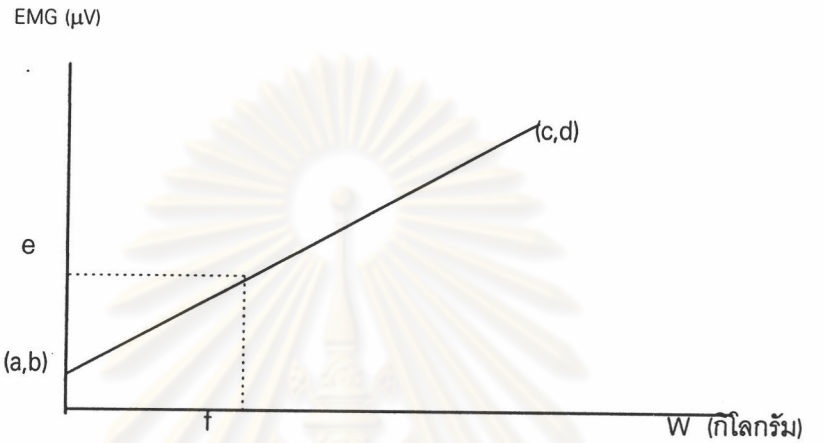
การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างในขณะทำงานนั้นสามารถจะใช้เครื่องมือวัดได้โดยตรง เครื่องมือที่ใช้วัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อนี้เรียกว่าเครื่องอีเอ็มจีหรือเครื่องอิเลคโตรมัยโอกราฟี (Muscle Tester รุ่น ME3000, Mega Electronics Ltd.) โดยจะใช้แผ่นอิเลคโตรดติดบริเวณกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างที่ต้องการวัด แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 ส่วนวิธีการวัดคลื่นไฟฟ้าสูงสุดของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่าง (Sub-MVE) เป็นวิธีที่อ้างถึงโดยอำนาจ เสตสุวรรณ (2537) โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกน้ำหนัก 18 กิโลกรัม แล้วทำการทดสอบโดยการก้มหลังยกน้ำหนักโดยเพิ่มมุมทีละ 10 องศาจนถึง 50 องศา มุมหนึ่งๆ จะให้ยกน้ำหนักค้างไว้นานประมาณ 10-15 วินาที จากนั้นใช้สมการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงแล้วสร้างสมการขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายค่าที่มุม 90 องศา



รูปที่ 2.4 การติดแผ่นอิเลคโตรดบนบริเวณหลังส่วนล่าง (L5/S1 disc)
(ME 3000 ; User Manual , Mega Electronics Ltd.)

อำนาจ เสตสุวรรณ (2537) กล่าวว่า เมื่อได้ค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างในสภาวะสูงสุด (Sub-MVE) แล้วนั้น การจะเทียบเป็นสัดส่วนกับในขณะทำงานได้จะต้องคิดเทียบจากภาระงานของร่างกายที่มากระทำร่วมด้วย โดยคิดว่าเมื่อใช้น้ำหนัก 18 กิโลกรัม ในการยกเป็นมุมที่ 90 องศา นั้นต้องมีเรื่องของน้ำหนักของร่างกายเข้ามาเกี่ยวข้องด้วยน้ำหนักที่ว่า ได้แก่ น้ำหนักของชิ้นส่วนแขนท่อนบน แขนท่อนล่าง มือทั้งซ้ายและขวา รวมทั้งศีรษะ คอและ

ลำตัวเข้าไปด้วย ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักเท่ากับ 67.72% ของน้ำหนักตัว เพราะฉะนั้นภาระงานที่มากระทำกับร่างกายในขณะที่มุม 90 องศา จึงเป็น 18 กิโลกรัม รวมกับ 67.72% ของน้ำหนักตัว จากการที่ค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังส่วนล่างในสภาวะสูงสุด (Sub-MVE) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ฉะนั้นเมื่อคิดเทียบสัดส่วนกันแล้วค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อหลังในขณะทำงานจะต้องคิดเทียบเป็นกิโลกรัมด้วย โดยใช้สมการเชิงเส้นตรงในการหาค่าได้ แสดงได้ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (EMG) กับภาระงาน

a = ค่า EMG ต่ำสุดขณะที่ผู้ถูกทดสอบอยู่ระหว่างการนั่งพัก

b = 0 กิโลกรัม เนื่องจากเป็นการพัก ไม่มีภาระงาน

c = W ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ (18 กิโลกรัม + 67.72% ของน้ำหนักตัว)

d = Sub-MVE ที่วัดได้จากการวัดและใช้สมการคณิตศาสตร์ช่วย หน่วยเป็น μV

e = ค่า EMG ที่วัดได้จากการทำงาน

f = ค่าภาระงาน (work load) ที่อ่านได้จากกราฟ

เมื่อได้ค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อจากการวัดขณะทำงานก็ให้เทียบเป็นภาระงาน (กิโลกรัม) โดยใช้กราฟความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงดังรูปที่ 2.5 แล้วนำไปเทียบเป็นสัดส่วนร้อยละของค่าคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อสูงสุดที่ได้จากการทดสอบ เรียกค่าดังกล่าวนี้ว่า %Sub-MVE

2.4 อุณหภูมิผิวหนังและอุณหภูมิทางปาก (skin and oral temperature)

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเผาผลาญสารอาหารจะเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิร่างกาย และมีการกระจายความร้อนสู่ระบบภายนอกโดยมีระบบการหมุนเวียนโลหิตสู่บริเวณผิวหนังที่สัมผัสกับสิ่งแวดล้อมจึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยอุณหภูมิร่างกายปกติที่วัดทางปาก (oral temperature) อยู่ที่ 98.1^{o}F (36.7^{o}C) ถ้าหากอุณหภูมิร่างกายเพิ่มขึ้น 1^{o}C ก็จะทำให้มีการสะสมความร้อนเพิ่มขึ้น 0.83 กิโลแคลอรีต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ในทางปฏิบัติแล้ว

การวัดอุณหภูมิทางทวารหนักอาจทำได้ไม่สะดวกนักอาจใช้การวัดอุณหภูมิทางปากหรือทางรักแร้แทน ซึ่งอุณหภูมิทางปากจะต่ำกว่าอุณหภูมิทางทวารหนักประมาณ 0.4°C แต่จะสูงกว่าอุณหภูมิทางรักแร้ 0.6°C

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องนี้มีหลายงานที่ได้กล่าวถึงผลกระทบของสภาวะความร้อนที่แสดงออกมาในรูปการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของร่างกาย โดยดัชนีที่นำมาใช้ประเมินผลก็คือดัชนีความเค้นแห่งความร้อนและดัชนีความเครียดแห่งความร้อน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

Chautipant (1980) ได้ศึกษาคนงานในโรงงานหล่อโลหะขนาดกลาง มีจำนวนผู้ถูกทดสอบทั้งหมด 26 คน เป็นชาย 22 คน และหญิง 4 คน ทำงานในส่วนของเตาหลอม มีอายุงานมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป ในทุกๆ 45 นาที จะทำการประเมินผลสภาวะความร้อนโดยใช้ดัชนีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก (WBGT) และดัชนีอุณหภูมิที่พอใจ (ET) พบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะมีผลทำให้อุณหภูมิทางปากเพิ่มขึ้นซึ่งมีค่ามากกว่า 37.56°C

Feistkorn (1984) ได้ทำการศึกษาโดยการนำแพะมาทดลองให้วิ่งออกกำลังกายแล้วศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของระบบหมุนเวียนและสมดุลของกรดด่างในการออกกำลังกาย โดยควบคุมให้อุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 35°C ความชื้นสัมพัทธ์ 33% จนกระทั่งมีอุณหภูมิแกนร่างกายเป็น 39°C, 40.5°C และ 42°C อุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 120 นาที ซึ่งจะให้พักใน 60 นาทีแรก ส่วนใน 60 นาทีหลังจะให้ทำงานด้วยอัตรา 1.2 วัตต์/กิโลกรัม ด้วยความเร็ว 3 กิโลเมตร/ชั่วโมง พบว่าอัตราการเผาผลาญสารอาหาร อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิแกนของร่างกาย

Masafumi Torii และ คณะ (1986) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของความเค้นของความร้อนที่มีต่อช่วงเริ่มต้นออกกำลังกาย โดยมีผู้ถูกทดสอบเป็นชายหนุ่ม 4 คน ให้ออกกำลังกายระดับปานกลางในที่มีอุณหภูมิต่างกัน คือ 30°C และ 40°C พบว่าที่อุณหภูมิ 40°C จะมีอัตราการขับเหงื่อมากขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเริ่มต้นออกกำลังกาย อุณหภูมิผิวหนังจะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิทางทวารหนักกลับไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยทั้งสองสภาวะนั้นอุณหภูมิผิวหนังจะลดลงเป็นสัดส่วนกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการขับเหงื่อและอัตราการเต้นของหัวใจในระหว่างออกกำลังกาย เหตุที่อุณหภูมิแกนของร่างกายคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องมาจากยังอยู่ในช่วงเริ่มต้นการทำงาน ความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถถูกกำจัดออกไปได้โดยกระบวนการขับเหงื่อหรือการนำพาความร้อนโดยเลือดออกสู่ผิวหนังมากขึ้น

Nielsen (1990) ได้ทำการศึกษาวิจัยในเรื่องความเค้นความร้อนกับความคุ้นเคยในสภาวะความร้อน โดยได้ทำการทดลองในห้องวิจัยโดยให้ผู้ถูกทดสอบออกกำลังกายบนเครื่องเดินออกกำลังกายด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตร/นาที ก่อนวิจัยให้ผู้ถูกทดสอบคุ้นเคยกับสภาพความร้อนโดยให้สัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิ 40°C - 42°C เป็นระยะเวลานาน 8-12 วัน หลังจากนั้นเริ่มทำการวิจัยโดยเปรียบเทียบในสองสภาวะ คือ อุณหภูมิ 18°C และอุณหภูมิ 40°C พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกายจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มจาก 2.38 ± 0.12 ลิตร/นาที เป็น 2.82 ± 0.09 ลิตร/นาที และทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นด้วย

Vitalis และ คณะ (1994) ได้ทำการศึกษาคนงานในอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศกรีก จำนวน 14 คน ในช่วงฤดูหนาวและร้อน โดยให้ทำงานในแต่ละกิจกรรมตามปกติแล้วทำการวัดสภาวะแวดล้อมของทั้งสองฤดูที่แตกต่างกันได้ ในช่วงฤดูหนาวจะมีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียกโดยเฉลี่ย เท่ากับ 16.1°C ± 6°C ความเร็วลม 1.3 เมตร/วินาที ส่วนในฤดูร้อนวัดอุณหภูมิประเปาะดำเปียกเฉลี่ยได้ 25.3°C ± 2.2°C ความเร็วลม 0.3 เมตร/วินาที พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานเฉลี่ยจะเป็น 97 ± 13 ครั้ง/นาที การเพิ่มขึ้นของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานเป็นร้อยละเป็น 21% ± 15% และสรุปได้ว่างานดังกล่าวนี้เป็นงานระดับเบาถึงระดับปานกลาง

Chad และ Brown (1995) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างพนักงานพิมพ์ดีด (งานเบา) กับพนักงานยกของ (งานหนัก) เพศหญิง จำนวนงานละ 7 คน ทำงานในสองสภาวะ คือ สภาวะปกติที่มีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก 17.7°C ความชื้นสัมพัทธ์ 74% และสภาวะความร้อนที่มีอุณหภูมิกระเปาะดำเปียก 30.2°C ความชื้นสัมพัทธ์ 50% เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของอุณหภูมิของร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ อัตราการเสียเหงื่อและความล้าของกล้ามเนื้อ โดยใช้เครื่องมืออิเลคโตรมัยโอกราฟี (electromyography) ที่มีผลต่อพนักงานพิมพ์ดีดในออฟฟิศกับพนักงานยกของในสองสภาวะ พบว่า เมื่อความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการเสียเหงื่อ อัตราการเต้นของหัวใจและอุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบทั้งสองงานแล้วพบว่า อุณหภูมิของร่างกายจะไม่แตกต่างกัน ในส่วนของความล้าของกล้ามเนื้อนั้น สรุปได้ว่า ทั้งสองงานจะเกิดความล้าของกล้ามเนื้อเฉพาะจุดโดยจะมีค่ามากสุดในสภาวะความร้อน แต่ถึงอย่างไรก็ตามความล้าอันเนื่องมาจากภาระความร้อนนั้นมีผลกระทบน้อยกว่าความล้าอันเนื่องมาจากภาระงาน

พรศิริ จงกล (2534) ได้ทำการศึกษาคนงานในโรงงานรีดเหล็กเส้นจำนวน 14 คน เป็นชาย 10 คน ทำงานในส่วนหน้าเตาและแท่นรีด และเป็นหญิง 4 คน ทำงานในส่วนของสลัดราง โดยใช้การวัดผลทางด้านจิตวิสัยควบคู่กับการตอบสนองทางสรีรวิทยา เช่น อุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ รวมไปถึงการตรวจวัดสภาวะแวดล้อม พบว่า พนักงานหน้าเตาและพนักงานแท่นรีดเกิดความเครียดมากเมื่อสิ้นสุดการทำงานในแต่ละวัน และจากการหาระยะเวลาการพักที่เหมาะสมพบว่าพนักงานสลัดรางมีระยะเวลาการพักที่เหมาะสมกับภาระงาน

งามจิตต์ บริบาลบุรีภัณฑ์ (2536) ได้ทำการศึกษาความต้องการใช้พลังงานและความสามารถสูงสุดในการทำงานของพนักงานหล่อโลหะที่มีหน้าที่งานแบ่งเป็น ควบคุมเตา เขี่ยขี้เหล็ก บังคับเครน เทน้ำเหล็ก และขนย้ายวัตถุดิบ พบว่าสัดส่วนของอัตราการใช้ออกซิเจนของงานหน้าที่ต่างๆ อยู่ในช่วงระหว่าง 20% ถึง 40% ของความสามารถในการทำงาน สรุปได้ว่า งานนั้นไม่หนักจนเกินไปและสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ความล้าจากการทำงานและระยะเวลาการพักที่เหมาะสม

พยนต์ โอภาษี (2524) ได้สรุปความหมายของความล้าที่เกิดขึ้นจากการทำงาน ดังนี้ คือ

- ความสามารถในการทำงานทั้งทางร่างกายและทางจิตใจลดน้อยลง
- ความพอใจในการทำงานลดน้อยลง
- ความเต็มใจในการทำงานลดน้อยลงเมื่อเลิกการทำงานแล้ว

Grandjean (1979) ได้แบ่งประเภทของความล้าออกได้เป็นสองประเภทใหญ่ คือ

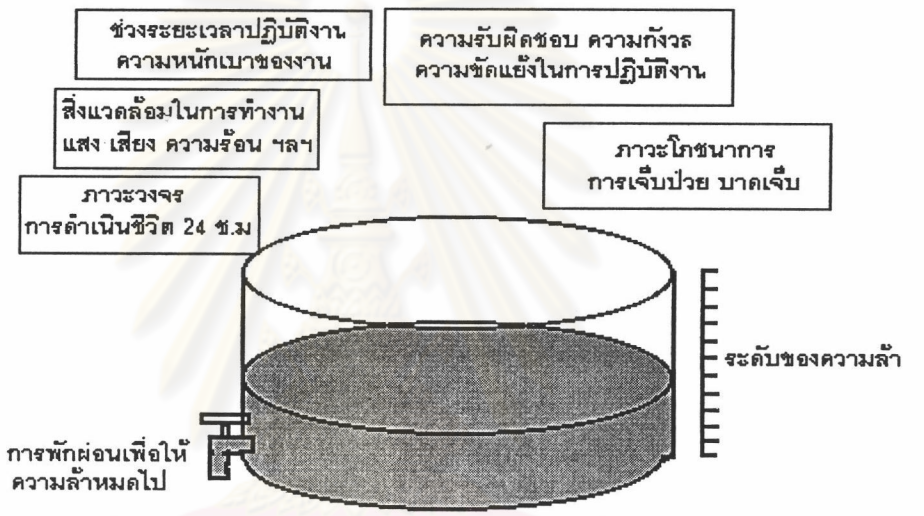
1. ความล้าทางร่างกาย (physical fatigue or muscle fatigue)

ความล้าทางร่างกายเป็นความล้าที่เกิดขึ้นโดยตรงต่อคนงาน เช่น การปวดเมื่อยหมดแรง และเกิดการเจ็บป่วยทางร่างกาย เป็นต้น ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากในขณะทำงานกล้ามเนื้อจะหดและขยายตัว ออกซิเจนที่ลำเลียงผ่านเส้นเลือดจะเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับขบวนการทางเคมีในการดึงพลังงาน (ATP : Adrenosine Triphosphate) ที่สะสมไว้มาใช้ ซึ่งร่างกายสามารถสร้างขึ้นมาใหม่จากสารอาหารที่รับประทานเข้าไป อัตราการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับระดับของภาระงาน กล่าวคือ ถ้างานหนักขึ้น ความต้องการใช้ออกซิเจนก็จะมากขึ้นทำให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นตามด้วยเพื่อลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์กล้ามเนื้อให้มากยิ่งขึ้น เมื่อร่างกายต้องทำงานติดต่อกันเป็นระยะเวลานานๆ ก็จะทำให้เกิดของเสียสะสมภายในเซลล์มากขึ้น อันเป็นสาเหตุให้เกิดความล้า (ศรีรักษ์ ศรีทองชัย, 2533)

2. ความล้าทางจิตใจ (mental fatigue)

ความล้าทางจิตใจเป็นความล้าซึ่งทำให้เกิดอาการเครียดและเบื่อหน่ายไม่อยากทำงาน มักเกิดกับงานประเภทที่ต้องใช้ความคิดมากๆ และทำเป็นระยะเวลานานๆ

สาเหตุของการเกิดความล้าขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านรูปแบบของงาน สภาวะแวดล้อมในการทำงาน ระยะและช่วงเวลาปฏิบัติงานและตัวผู้ปฏิบัติงานเอง ดังรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าระดับน้ำในถังแสดงถึงระดับความล้าที่มีผลมาจากความเค้นต่างๆ และน้ำที่ไหลออกจากถังแสดงถึงความล้าที่จะหายไปจากร่างกายผู้ปฏิบัติงานเมื่อได้รับการพักผ่อน



รูปที่ 2.6 ปัจจัยด้านต่างๆ ที่เป็นสาเหตุของการเกิดความล้า
(วิฑูรย์ สิมะโชคดี และ กฤษฎา ชัยกุล, 2537)

ความล้านั้นสามารถกำจัดออกไปได้ถ้าหากให้คนงานได้พักหลังทำงานที่เพียงพอซึ่งจะช่วยให้ร่างกายของเขาได้ฟื้นตัวจากสภาพล้านั้นได้อย่างเต็มที่ ในแต่ละคนจะต้องการระยะเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับระดับของภาระงาน (work load) สุขภาพและความสามารถทางด้านร่างกายในแต่ละคน เป็นต้น สำหรับการหาระยะเวลาพักที่เหมาะสมนั้นสามารถหาได้จากการพิจารณาการใช้พลังงานสำรองของคนในช่วงที่เกินขีดจำกัดของการใช้พลังงานทำงาน 8 ชั่วโมง ซึ่ง Ayoub และ Mital (1989) ได้แนะนำไว้สำหรับผู้ชายไม่ควรเกิน 5.0 กิโลแคลอรี่/นาที ถ้าหากร่างกายมีการใช้พลังงานที่เกินขีดจำกัดนี้แล้วนั้นร่างกายจำเป็นต้องมีการหยุดพักเพื่อชดเชยพลังงานสำรองที่นำมาใช้ แต่ถ้าหากร่างกายไม่ได้หยุดพักและมีการใช้พลังงานสำรองต่อไปมากขึ้นๆ ก็จะทำให้เกิดความล้าในร่างกายได้ (Stevenson, 1988) เพราะฉะนั้นจึงควรจัดหาเวลาในการพักที่เหมาะสมให้

กับพนักงานโดยที่ไม่ทำให้พนักงานเกิดความล้าของร่างกายและไม่ทำให้เสียงาน สำหรับสูตรที่ใช้ในการคำนวณหาระยะเวลาในการพักที่เหมาะสมนั้นจะใช้สูตรที่แนะนำโดย Murrell (1965) ซึ่งมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้

$$R = \frac{T * (W - S)}{W - SM}$$

เมื่อ R คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพัก, นาที

T คือ ช่วงเวลาที่ทำงานโดยตลอด, นาที

W คือ การใช้พลังงานทำงาน, กิโลแคลอรี/นาที

S คือ ขีดจำกัดการใช้พลังงานในการทำงาน, 5 กิโลแคลอรี/นาที

SM คือ การใช้พลังงานในขณะนั่งพัก, กิโลแคลอรี/นาที

การได้พักจากการทำงานที่เหมาะสมนั้นทำให้สามารถช่วยลดปริมาณกรดแลคติกที่เกิดขึ้นกับร่างกายและทำให้การเต้นของหัวใจนั้นกลับคืนสู่สภาพปกติ เพราะฉะนั้นการพักที่เหมาะสมจึงเป็นการช่วยลดความเครียดทางสรีรวิทยา (physiological strain) ที่เกิดขึ้นกับร่างกายได้ ซึ่งถ้าหากมีระยะเวลาในการพักที่ไม่เพียงพอแล้วก็อาจทำให้ร่างกายมีความล้าสะสมอันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพและทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้

อันตรายและความเจ็บป่วยที่เกิดจากความร้อน

เมื่อทำงานในบริเวณที่มีความร้อนสูง ร่างกายคนเราจะมีระบบกลไกในการป้องกันอยู่ในระดับหนึ่งเพื่อป้องกันมิให้เกิดอันตรายได้ กลไกดังกล่าวจะทำหน้าที่ควบคุมความร้อนของร่างกายให้อยู่ในสภาพปกติตลอดเวลา โดยการถ่ายเทความร้อนหรือโดยทางเคมีเพื่อกำจัดความร้อนในส่วนที่เกินออกไปจากร่างกายโดยทันที แต่ถ้าความร้อนที่รับเข้ามานั้นเกิดการสะสมไว้ในร่างกายและไม่สามารถถ่ายเทออกไปได้ทันจนเกิดการสะสมมากขึ้นก็อาจจะทำให้ร่างกายเกิดมีปัญหาต่างๆ ตามมาได้ การตอบสนองต่อความร้อนของร่างกายนั้นจะเริ่มตั้งแต่ร่างกายยังรู้สึกสบายซึ่งในระดับนี้ยังถือว่าความร้อนยังสะสมอยู่ในปริมาณต่ำ จนความร้อนสะสมมากขึ้นๆ ผลของความร้อนนั้นจะทำให้เกิดความเค้นทางด้านจิตใจก่อนเป็นอันดับแรกและขยายผลออกไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ ลักษณะของผลที่เกิดจากความเครียดในการทำงานที่มีสภาวะความร้อนมีได้ในหลายลักษณะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆ อย่างมาประกอบกัน ลักษณะของผลที่เกิดขึ้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. <u>เป็นลมปัจจุบันเนื่องจากความร้อน</u> (heat stroke) เกิดขึ้นเนื่องจากร่างกายได้รับความร้อนและประสาทที่ควบคุมระดับความร้อนในร่างกายถูกทำลายให้เสียไป เกิดแบบปัจจุบันทันด่วน ซึ่งถ้าหากร่างกายปรับตัวไม่ทันก็จะเป็นลมหมดสติได้ทันที

<u>อาการ</u> - มีอาการตัวร้อน อุณหภูมิแกนของร่างกายสูงขึ้นถึง 40.5°C
- ผิวหนังแห้ง แดงร้อน เพราะกลไกควบคุมการขับเหงื่อเสียไป
- เกิดการชักกระตุกของกล้ามเนื้อ สมองไม่ทำงาน สับสน เพ้อ ไม่ได้สติ
- ร่างกายเริ่มเขียว เนื่องจากร่างกายขาดออกซิเจน
- หายใจเร็วขึ้น ชีพจรเต้นเบาลง อาจสลบได้
- อาจเสียชีวิตได้หากอุณหภูมิร่างกายยังสูงขึ้นอีก

2. <u>การอ่อนเพลียเนื่องจากความร้อน</u> (heat exhaustion) เกิดขึ้นเนื่องจากร่างกายได้รับความร้อนเป็นเวลานาน ทำให้ปริมาณน้ำและเกลือแร่ต่างๆ ในร่างกายสูญเสียไปจนหมด สารอิเลคโตรไลท์ต่างๆ ที่มีอยู่ในร่างกาย เช่น โซเดียม โปแตสเซียม เป็นต้น เกิดเสียสมดุลไป จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ โดยจะเริ่มจากรู้สึกอ่อนเพลีย เมื่อยล้าต่อมาจึงรู้สึกเหมือนจะเป็นลม

<u>อาการ</u> - มีอาการเกิดขึ้นที่ระบบทางเดินอาหาร เช่น เบื่ออาหาร ท้องผูก กระหายน้ำ อ่อนเพลีย คลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน ตาลาย ปวดศีรษะในขณะยืน
- เกิดตะคริวของกล้ามเนื้อ เนื่องจากสมองควบคุมไม่ได้
- ถ้าเหงื่อออกมากจะทำให้เกิดอาการทางสมอง จิตใจ ความคิดสับสน
- หากเป็นมากๆ การทำงานของกล้ามเนื้อจะเสียไป
- อุณหภูมิแกนของร่างกายสูงขึ้นถึง 37.5°C - 38.5°C
- ผิวหนังเย็นชื้น
- ถ้าขาดน้ำมากปัสสาวะจะน้อยและเข้มข้นมาก แต่ถ้าหากขาดเกลือแร่แล้วปัสสาวะจะเข้มข้นน้อยและคลอไรด์จะมีปริมาณน้อยกว่า 3 กรัม
- ชีพจรเต้นเบาแต่เร็ว ความดันโลหิตต่ำ
- ในขั้นสุดท้ายอาจเกิดอาการชักและตายได้

3. <u>ตะคริวเนื่องจากความร้อน</u> (heat cramp) เกิดขึ้นเนื่องจากร่างกายได้รับความร้อนมาก ร่างกายสูญเสียเหงื่อไปเป็นปริมาณมากในขณะทำงานหรือดื่มน้ำที่ไม่มีเกลือแร่มาชดเชยที่

ร่างกายสูญเสียไป มักเกิดเรื้อรัง จะเกิดขึ้นบนบริเวณของกล้ามเนื้อที่ใช้งานมาก เช่น กล้ามเนื้อท้อง ขาหรือแขน

อาการ - ปวดศีรษะ
- เจ็บปวดอย่างมากจากการหดเกร็งของกล้ามเนื้อระหว่างทำงานหรือเลิกทำงาน และปริมาณเลือดที่ไปเลี้ยงบริเวณกล้ามเนื้อส่วนนั้นมีน้อย
- กล้ามเนื้อเกิดการชักกระตุก
- ผิวหนังเย็น
- อาจชักและถึงแก่ความตายได้

4. โรคจิตประสาทเนื่องจากความร้อน (heat neurosis) ความร้อนทำให้เกิดผลทางด้านจิตใจ ทำให้เกิดความเฉยเมย เมื่อยล้า เบื่องาน ขาดความรอบคอบในการทำงาน ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เกิดขึ้นได้ในสองลักษณะ คือ เกิดขึ้นแบบชั่วคราว หรือเกิดขึ้นแบบถาวร

5. ความผิดปกติของผิวหนัง (skin disorder) เกิดขึ้นได้ในสองลักษณะ คือ

5.1 การเกิดผื่นเนื่องจากความร้อน (heat rash)

อาการ - มีตุ่มแดงเล็กๆ ขึ้นมาก อาจเป็นถุงใสๆ ร่วมด้วย
- รู้สึกเหมือนถูกเข็มแทงขณะสัมผัสกับความร้อน

5.2 การเกิดผื่นจากการกักขังของเหงื่อ (anhydrotic heat)

อาการ - การทำงานของต่อมเหงื่อลดลงหรือหยุดทำงาน
- เกิดการกักขังของเหงื่อใต้ผิวหนังทำให้ผิวหนังเกิดผื่น
- ไม่มีเหงื่อออกแต่มีอาการขนลุกเมื่อสัมผัสความร้อน

ปัจจัยในการทนต่อความร้อน

ปัจจัยที่ทำให้ร่างกายของคนเรามีความแตกต่างกันในการทนต่อความร้อนนั้นมีได้หลายปัจจัย เช่น ความคุ้นเคยกับสภาพงานที่มีอุณหภูมิสูง อัตราพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก อายุและโรคประจำตัว ความสมดุลของน้ำ ความสมดุลของเกลือ นิสัยการดื่มแอลกอฮอลล์ และสภาวะของร่างกาย เป็นต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ (กิตติ อินทรานนท์, 2538)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ความคุ้นเคยกับสภาพงานที่มีอุณหภูมิสูง

ความคุ้นเคยกับสภาพงานที่มีอุณหภูมิสูง คือ ความสามารถในการปรับตัวให้เคยชินกับสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อคนเราทำงานในที่มีอุณหภูมิสูงเป็นระยะเวลานานจะเกิดความเคยชิน ร่างกายจะปรับตัวให้สามารถทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น โดยเมื่อผ่านไปหลายวันจะทำให้สามารถทำงานโดยมีอัตราการเต้นของหัวใจ อุณหภูมิในร่างกายและผิวหนังลดลง

2. อัตราพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก

คนอ้วนจะมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักตัวต่ำ เนื่องจากมีน้ำหนักตัวมากจึงทำให้มีการผลิตความร้อนออกมามากและสูญเสียความร้อนออกจากร่างกายได้น้อย เพราะฉะนั้นจึงเป็นอุปสรรคต่อการทำงานในที่ร้อน ยิ่งถ้ามีปัญหาเรื่องร่างกายไม่สมบูรณ์ด้วยแล้วก็จะยิ่งเพิ่มความเสี่ยงให้เป็นอันตรายมากยิ่งขึ้น

3. อายุและโรคประจำตัว

คนที่มีอายุน้อยจะได้เปรียบคนที่มีอายุมากเนื่องจากสามารถทนความร้อนได้ดีกว่าและมีสมรรถภาพทางกายที่ดีกว่า โรคภัยที่เกี่ยวกับหัวใจและหลอดเลือดก็มักจะทำให้ความทนทานต่อความร้อนลดลง

4. ความสมดุลของน้ำ

ความทนทานต่อความร้อนขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ภายในร่างกายและการขับเกลือจากร่างกาย ถ้าการสูญเสียน้ำนี้เราสามารถชดเชยได้จากการดื่มน้ำให้เพียงพอแล้วก็จะทำให้เราสามารถทนทานต่อความร้อนได้ดี

5. ความสมดุลของเกลือ

เกลือที่สูญเสียไปกับเหงื่อในระหว่างการทำงานจะได้รับมาจากอาหาร โดยในเหงื่อ 1 กิโลกรัม จะมีเกลืออยู่ประมาณ 2 กรัม ในวันหนึ่งๆ นั้นร่างกายอาจจะสูญเสียเกลือประมาณ 18-30 กรัม ซึ่งจะมีผลต่อการทนทานต่อความร้อน

6. นิสัยการดื่มแอลกอฮอลล์

ผู้ที่ดื่มสุราจะมีความทนทานต่อความร้อนน้อยกว่าคนที่ไม่ดื่มสุรา สันนิษฐานได้ว่าพิษแอลกอฮอลล์จากสุรา ทำให้ระบบการทำงานในร่างกาย (ADH) ทำงานไม่เป็นปกติ ส่งผลให้มีการขาดน้ำในปัสสาวะและในร่างกาย

7. สภาวะของร่างกาย

สภาวะร่างกายที่แตกต่างกันออกไปของแต่ละคนจะมีผลแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล ซึ่งบุคคลที่มีสุขภาพที่ดีและออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะมีความทนทานต่อความร้อนได้มากกว่า ความทนทานต่อความร้อนนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้อยู่ภายในร่างกายและการขับเกลือจากร่างกาย

จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ได้พิจารณาความพร้อมของเครื่องมือและอุปกรณ์การวัดที่มีอยู่ตลอดจนการวัดบันทึกกิจกรรมในโรงงานขณะปฏิบัติงานจริง การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงได้ดำเนินการทดสอบภายในขอบเขตของการวิจัยดังได้เสนอแล้วในบทที่ 1 และวิธีการในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย