บทที่ 5

เครื่องมือและวิธีการใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้ สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

1. เครื่องมือเฉพาะ Comfort meter 1212 พร้อม Transducer MM0023 ใช้วัดอุณหภูมิความสบาย, PMV, PPD ฯลฯ

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ใช้หาค่าตัวแปรเฉพาะตัว

2.1 เครื่องวัดและบันทึกดัชนีอุณหภูมิแบบ WBGT ใช้วัดอุณหภูมิอากาศในห้อง (t_a) ซึ่งเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้งและใช้วัดอุณหภูมิสะสมใน globe (t_g)

2.2 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ Thermo - hygrometer 6100 ยี่ห้อ Testoterm สามารถวัดอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ได้เป็นตัวเลข

2.3 เครื่องมือวัดความเร็วอากาศ Hot wire anemometer

2.4 แบบฟอร์มการโหวตเกี่ยวกับสภาพอากาศและการแต่งกายของคนทดสอบ

เนื่องจากเครื่องมือดังกล่าวยังไม่ค่อยมีใช้แพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้นจึงขอกล่าวถึงวิธีการใช้และนิยาม ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.1 การใช้ Therml comfort meter

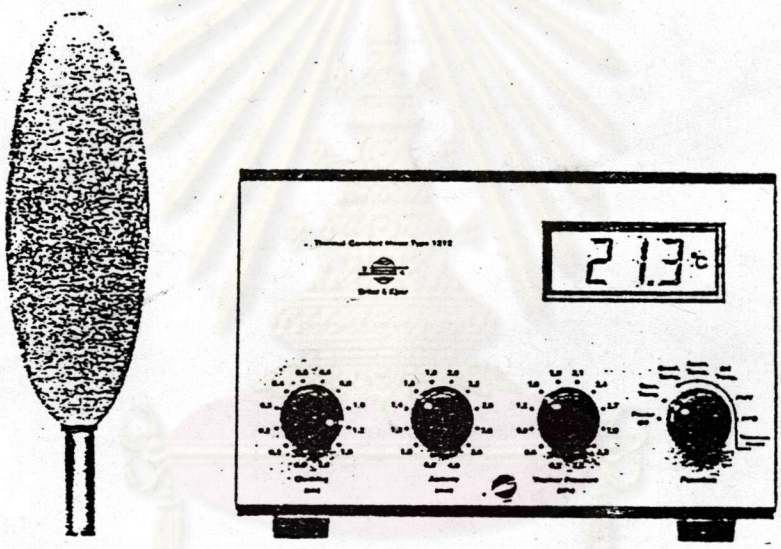
Thermal comfort meter ที่นำมาใช้เป็นรุ่น 1212 สามารถใช้วัดคุณลักษณะของสิ่งแวดล้อมภายในอาคารว่ามีอิทธิพลต่อคนอย่างไรบ้าง โดยมีจุดยืนในการสร้างเครื่องนี้ให้เป็นไปตามมาตราฐาน ISO 7730(Moderate thermal environments) เพื่อหา PMV , PPD และอิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความสบาย

เป็นที่ทราบดีว่าภาวะสบายเชิงความร้อนไม่เป็นเพียงฟังก์ชั่นของอุณหภูมิอากาศ (t_a) แต่เป็นฟังก์ชั่นของ อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (t_{mrt}) , ความเร็วอากาศสัมพัทธ์ (V_a) ลักษณะงาน (Activity Level) , ความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) และค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า (I_{cl}) การวัด t_a , t_{mrt} , v_a จะใช้ Transducer MM0023 เป็นตัววัดค่าทั้งสามตัว Transducer จะทำงานด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์ ต่อสายเข้าเครื่อง1212

i17192663

โดยปกติแล้ว MM0023 จะติดตั้งบน 3 ขา (tripot) ที่ปรับระดับความสูงและองศาได้ ส่วนค่าของลักษณะงาน , I_{cl} ของเสื้อผ้า , ความดันไอ จะตั้งไว้ที่ Front panel ของ 1212 ถ้าคนทดสอบในห้องมีลักษณะงาน หรือ I_{cl} ที่แตกต่างกัน จะใช้ค่าเฉลี่ย

PMV ของ 1212 จะแสดงค่าเป็น 0(ศูนย์) เมื่อองค์ประกอบทั้ง 6 ตัวของความสบายเชิงความร้อนเป็นไปตามสมการความสบายของ FANGER ใน 1212 มีฟังก์ชั่นในการวัดค่าอยู่ 6 ตัว ดังนี้



รูปที่ 5.1 Transducer MM 0023 และ Comfort meter 1212

5.1.1 อุณหภูมิทำงาน (Operative temperature ; t_o) คือ อุณหภูมิที่เป็น uniform ของ enclosure หนึ่งซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเท่ากับอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย และมีการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนระหว่างคนกับ enclosure นั้นเท่ากับการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นจริงในสถานที่เก็บข้อมูล
หรืออาจกล่าวว่า เมื่อคนอยู่ในห้องทำงานจริงที่มีสิ่งแวดล้อมทางความร้อนใด ๆ มีความรู้สึกเท่ากับ เมื่อคนนั้นมาอยู่ในห้องทดลองที่มี $t_a = t_{mrt}$ จะได้ว่าอุณหภูมิผิวของห้องทดลอง คือ t_o

5.1.2 อุณหภูมิเทียบเท่า (Equivalent Temp ; t_e) คืออุณหภูมิที่เป็น uniform ของ enclosure ซึ่งมีความเร็วอากาศ ; v = still air และมีการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อน ระหว่างคนกับ enclosure เท่ากับที่เกิดในสถานที่เก็บข้อมูล

(ความหมายคล้ายกับ t_o เพียงแต่เงื่อนไขในห้องทดลองจาก $t_a = t_{mrt}$ เป็น v = still air)

5.1.3 อุณหภูมิสบาย (Comfort temperature ; t_c) คือ t_e ที่เป็นภาวะสบายเชิงความร้อนตามเงื่อนไขที่ตั้งค่า clo , met , kP_a ที่ select ไว้บน front panel หรืออาจจะกล่าวได้ว่า t_c คือค่าประมาณของ t_a ที่รู้สึกสบายในห้องทดสอบที่มี v = still air เมื่อมีเงื่อนไข clo,met,kPa ตามที่ตั้งไว้

5.1.4 อุณหภูมิแตกต่าง (Difference temperature ; t_d) คือ อุณหภูมิแตกต่างระหว่างอุณหภูมิความสบายกับอุณหภูมิเทียบเท่า หรือ $t_c - t_e$

5.1.5 PMV คือ ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย ตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.1

5.1.6 PPD คือ เปอร์เซ็นต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย ตามที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.2

5.1.7 การวัดค่า t_o , t_e , t_c , t_d , PMV , PPD

เมื่อติดตั้ง MM0023 และต่อสายเข้ากับ 1212 แล้ว เราสามารถหาค่า t_o โดยหมุนสวิทช์มาที่ตำแหน่ง t_o (ไม่ต้องคำนึงถึงการตั้งค่าบน front panel) รอจนค่าไม่เปลี่ยนแปลงก็สามารถอ่านค่าได้

แต่ถ้าต้องการอ่านค่า t_e , t_c , t_d , PMV หรือ PPD โดยเปลี่ยนตำแหน่งจาก t_o ไป ต้องตั้งค่าบน front panel ให้สอดคล้องกับความเป็นจริงก่อน และรอเวลาให้ MM0023 ได้รับการ heat จนสมดุลย์(ประมาณ 15 นาที) จึงอ่านค่าได้ ในทำนองกลับกันถ้าต้องการกลับไปอ่านค่า t_o ต้องรอเวลาประมาณ 15 นาที เพื่อให้ MM0023 ระบายความร้อน

ออกไปจนหมดก่อน จึงอ่านค่า t_o ได้

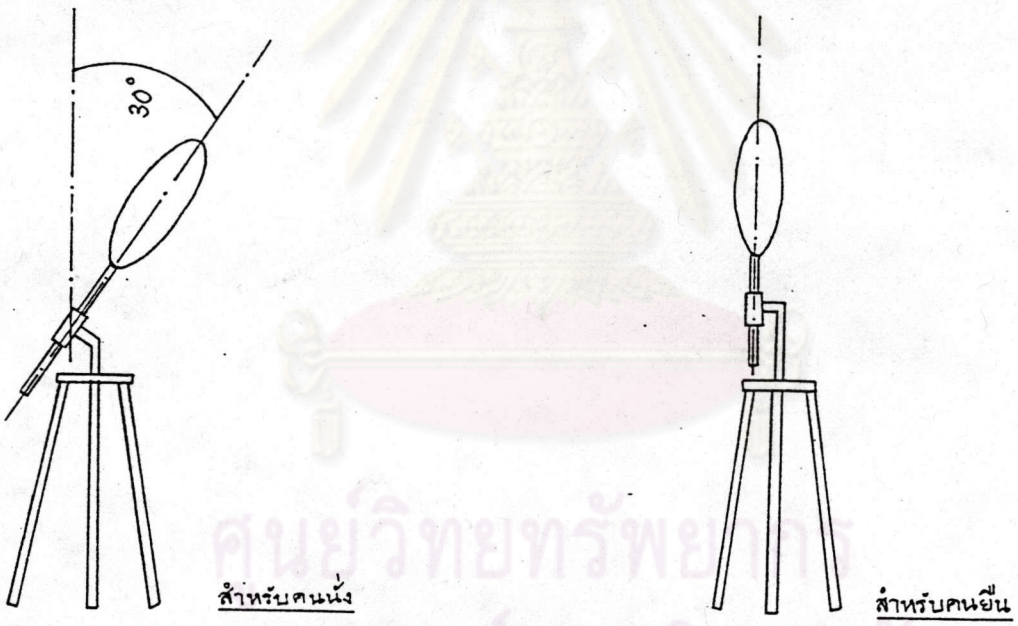
5.1.8 การติดตั้ง MM0023

ในการใช้ MM0023 จะ ติดตั้งอยู่บน 3 ขา โดยจะมีลักษณะและตำแหน่งดังนี้

ถ้าคนทดสอบนั่ง MM0023 จะทำมุม 30° กับแนวดิ่ง และสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 0.6 เมตร

ถ้าคนทดสอบยืน MM0023 จะอยู่ในแนวดิ่ง และสูงขึ้นจากพื้นประมาณ 1.1 เมตร

และถ้าคนทดสอบบางคนนั่ง บางคนยืน จะปรับมุมและความสูง เป็นค่าเฉลี่ยจากที่กล่าวไว้ข้างต้น

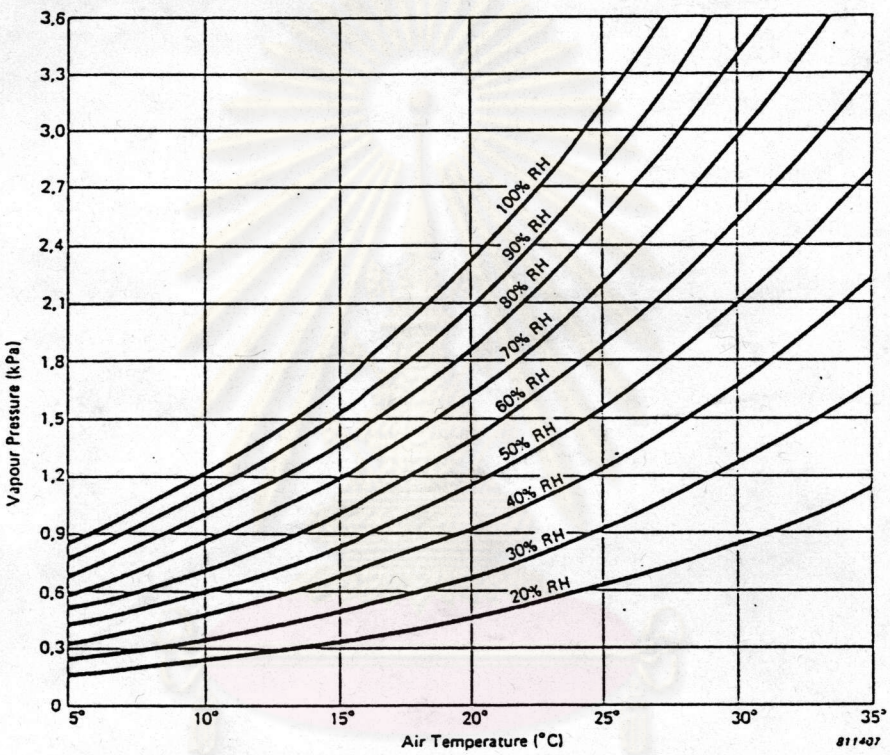


รูปที่ 5.2 การติดตั้ง MM0023

5.1.9 การตั้งค่าตัวแปรบน front panel ของ 1212

เนื่องจากการใช้ 1212 และ MM0023 ในการวัดฟังก์ชั่นต่าง ๆ นั้น ต้องมีการตั้งค่า I_{cl}, met และ kPa บน front panel ให้ถูกต้องก่อน (ยกเว้นการวัด t_o) มิฉะนั้นผลลัพธ์ที่อ่านได้จะคลาดเคลื่อนจากค่าที่ควรเป็น

5.1.9 ก การหาค่าความดันไอ สามารถหาได้จากการใช้รูป 5.3 เมื่อทราบค่า t_a และ %Rh ของห้องทดสอบ



รูปที่ 5.3 กราฟความดันไอบางส่วนของอากาศเมื่อเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์

5.1.9 ข การหาค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า เนื่องจากการวัด I_{cl} ค่อนข้างยากเพราะไม่มีเครื่องมือวัดความต้านทานการนำความร้อนของเนื้อผ้า ดังนั้นจึงได้มีการทดลองหาค่า I_{cl} ที่ Kansas State University (Institute of Environmental Research and Department of Clothing and Textiles) จากคนทดสอบชาย-หญิง จำนวนมากจนได้ค่าเป็น I_{cl} ดังตารางที่ 5.1 เมื่อทราบการแต่งกายของคนทดสอบก็สามารถหาค่าได้ตามตัวอย่างใต้ตาราง

Garment description	Thermal insulation, clo (I_{clu})	Garment description	Thermal insulation, clo (I_{clu})
Underwear		Thin sweater	0,20
Briefs	0,03	Sweater	0,28
Underpants with long legs	0,10	Thick sweater	0,35
Singlet	0,04	**Jackets**	
T-Shirt	0,09	Light summer jacket	0,25
Shirt with long sleeves	0,12	Jacket	0,35
Panties + Bra	0,03	Smock	0,30
Shirts — Blouses		**High Insulative, Fiber-pelt**	
Short sleeves	0,15	Boiler suit	0,90
Light weight, long sleeves	0,20	Trousers	0,35
Normal, long sleeves	0,25	Jacket	0,40
Flannel shirt, long sleeves	0,30	Vest	0,20
Light weight blouse, long sleeves	0,15	**Outdoor clothing**	
Trousers		Coat	0,60
Shorts	0,06	Down jacket	0,55
Light weight	0,20	Parca	0,70
Normal	0,25	Fiber-pelt overalls	0,55
Flannel	0,28	**Sundries**	
Dresses — Skirts		Socks	0,02
Light skirt (summer)	0,15	Thick ankle socks	0,05
Heavy skirt (winter)	0,25	Thick long socks	0,10
Light dress, short sleeves	0,20	Nylon stockings	0,03
Winter dress, long sleeves	0,40	Shoes (thin soled)	0,02
Boiler suit	0,55	Shoes, (thick soled)	0,04
Sweaters		Boots	0,10
Sleeveless vest	0,12	Gloves	0,05

Table 5.1. Clo-values for individual items of clothing. The correct setting of the CLOTHING switch is simply the sum of the clo-values for all the garments worn. Example : The clo-value for a man wearing briefs, socks, shoes, light-weight trousers, normal long-sleeve shirt and a sweater will be 0.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.9 ค การหาค่า Metaboric rate สามารถหาได้จากตารางที่ 5.2 ซึ่งมีตัวอย่างการคำนวณใต้ตารางเช่นกัน

ตารางที่ 5.2 ค่า Metaboric rate ที่ลักษณะงานต่าง ๆ กัน

Activity	Metabolic Rate, W/m²
Seated Reading	55
Seated Writing	60
Seated Typing	65
Seated Filing	70
Seated Talking	65
Standing Talking	70
Standing Filing	80
Walking	100
Lifting/Packing	120

[a] $M = M_1$ Percent Time + M_2 Percent Time + M_n • Percent Time.
where
M = total metabolic activity, watts per square metre. $M_{1,2}$ metabolic rates given above.
Examples: Seated typing, 50%; standing filing, 50%: $M = 65\ (0.5) + 80\ (0.5) = 32.5 + 40.0 = 72.5\ W/m^2$.

5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์หาค่าตัวแปรเฉพาะ

การวัดค่า t_a, %Rh, v_a และ t_{mrt} จำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียด รวดเร็ว และมีค่าความผิดพลาดในการวัดต่ำ

จากหัวข้อที่ 5.1.9ก การหาค่าความดันไอจำเป็นต้องทราบค่า t_a และ %Rh ก่อน ดังนั้นต่อไปนี้จะของกล่าวถึงวิธีการวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 การวัดอุณหภูมิอากาศกระเปาะแห้ง การใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท หรือเทอร์โมคัปเปิล วัดอุณหภูมิของอากาศในห้องทดสอบนั้นค่าอุณหภูมิที่อ่านได้เป็นผลมาจากอุณหภูมิอากาศบวกกับอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ดังนั้นวิธีการง่าย ๆ ในการลดอิทธิพลของการแผ่ความร้อนนี้คือทำ sensor ให้เล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ หรืออาจจะใช้ shield รูปทรงกระบอกทำจากอลูมิเนียมขัดผิวมันแบบเปิดครอบไว้ก็จะช่วยป้องกันการแผ่รังสีความร้อนได้ หรือใช้

sensor ที่มีค่าการส่งออกของผิวต่ำ (Low-Emittance surface) ดังนั้นการวัดค่า t_a ในงานวิจัยนี้จึงใช้เครื่อง WBGT วัดเพราะมีขนาดเล็กสามารถอ่านค่าได้รวดเร็ว สะดวก และมีค่าความผิดพลาดต่ำ ที่สำคัญสามารถอ่านค่าละเอียดถึง 0.1 °c

5.2.2 การวัดความชื้นอากาศสัมพัทธ์ โดยปกติความดันไอจะมีค่าเท่ากันทั่วทั้งห้อง ดังนั้นการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องทดสอบจึงวัดจุดเดียวก็พอ สามารถใช้ Psychometer Hair hygrograph ,Electrolytic hygrometer ฯลฯ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการดำเนินงานจึงได้ขอยืม Thermo - Hygrometer 6100 จากศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย เครื่องมือนี้สามารถอ่านค่าเป็นตัวเลขได้ทันที มีขนาดเล็กกระทัดรัด และได้รับการปรับเทียบจากกรมอุตุนิยมวิทยา

5.2.3 การวัดความเร็วอากาศ สามารถกระทำได้หลายวิธีเช่น ใช้ Thermal anemometer ชนิดใช้กับความเร็วอากาศต่ำ ๆ หรือใช้ Silvered kata - thermometer ในที่นี้จะใช้ Hot wire anemometerซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4 การหาค่าอุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย เมื่ออุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย (t_{mrt}) คือ อุณหภูมิที่เป็น uniform ของ black enclosure ซึ่งมีการสูญเสียความร้อนโดยวิธีการแผ่รังสีความร้อนของคนเท่ากับ enclosureจริงที่กำลังเก็บข้อมูล เมื่อคนทดสอบอยู่ในตำแหน่งและท่า รวมทั้งมีการแต่งกายตามที่กำหนดให้

วิธีการหาค่า

5.2.4.1 เนื่องจากในอาคารปรับอากาศ ผนังห้องจะมีค่า E ใกล้เคียง 1 ดังนั้น จึงสมมุติให้พื้นผิวห้องทุกด้านเป็นสีดำ จะได้ว่า

$$T^4_{mrt} = T_1^4.F_{p-1} + T^4_2.F_{p-1}+.....T^4_N.F_{p-N} \quad (5.1)$$

เมื่อ

$T_{1...N}$ คือ อุณหภูมิพื้นผิวที่เป็น Isothermal (K)

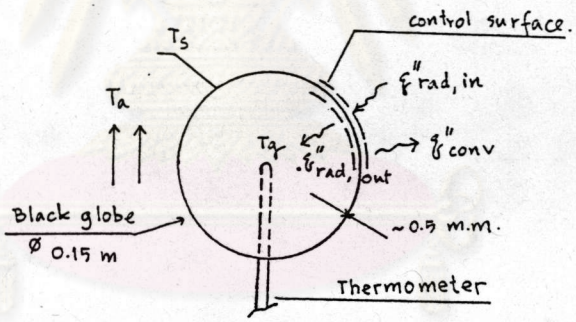
$F_{p-1...N}$ คือ Angle factor ระหว่างคนทดสอบกับพื้นผิว

แต่ในการเก็บข้อมูลจากสถานที่ทำงานจริง ไม่สามารถกำหนดท่าทางของคนทดสอบให้อยู่ในลักษณะเดียวตลอดการทดสอบได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้สมการ (5.1) มาคำนวณหา t_{mrt}

5.2.4.2 Bjarne W. olesen ได้กล่าวไว้ว่า t_{mrt} สามารถหาได้จาก

5.2.4.2.ก. การวัดอุณหภูมิอากาศ , อุณหภูมิภายใน Globe (t_g) และ v ในห้องทดสอบแล้วนำมาคำนวณหา t_{mrt}

เมื่อ t_g คือ อุณหภูมิอากาศสมดุลย์ที่จุดศูนย์กลางของ black globe ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มม. การเปลี่ยนแปลงค่า t_g เกิดจาก อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ(dry bulb),ความเร็วอากาศและการแผ่รังสีความร้อนในห้องทดสอบ



รูปที่ 5.4 Globe thermometer

ต้องการหา ความสัมพันธ์ระหว่าง t_g กับ t_{mrt}

สมมุติฐาน
1. เป็น steady state
2. ส่งผ่านความร้อนในแนวรัศมี
3. คุณสมบัติของสารไม่เปลี่ยนแปลง
4. ความต้านทานความร้อนของผนังทรงกลม Globe มีค่าน้อย
5. ผิวภายในห้องทดสอบมีคุณสมบัติใกล้เคียง black body

จาก surface energy balance equation

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} = 0$$

เมื่อพิจารณาต่อ 1 หน่วนพื้นที่

$$\ddot{q}_{rad,in} = \ddot{q}_{conv} + \ddot{q}_{rad,out} + \ddot{q}_{cond\ in\ surface}$$

เทอม Conduction in surface มีค่าน้อยมากตามสมมุติฐานข้อ 4 เมื่อแทนค่าแต่ละเทอมจะได้

$$\varepsilon_1 \acute{o} . (T^4_{mrt} - T^4_s) = h_c (T_s - T_a) + \varepsilon_2 \acute{o} (T^4_s - T^4_g) \qquad (5.2)$$

เมื่อ

ε_1 , ε_2 มีค่าประมาณ 1

$\acute{o}$ คือ stefan-Boltzmann const = $5.67*10^{-8}$ W/m^2K^4

T_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย ; K

T_s คือ อุณหภูมิผิว Globe ; K

T_g คือ อุณหภูมิที่ศูนย์กลางภายใน Globe ; K

T_a คือ อุณหภูมิอากาศในห้อง ; K

h_c คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน = $12.1\ v^{0.5}$ $W/m^2.K$

เพราะว่า T_s สามารถแทนค่าด้วย T_g ได้ เมื่อสภาพอากาศใน Globe เป็น Steady state เพราะฉะนั้น จากสมการ (5.2) จะลดรูปเหลือ

$$\acute{o} (T^4_{mrt} - T^4_g) = 12.1\ v^{0.5} (T_g - T_a)$$

$$T^4_{mrt} = T^4_g + \frac{12.1}{5.67*10^{-8}} (T_g - T_a)\ v^{0.5}$$

หรือ $$T^4_{mrt}*10^{-9} = T^4_g*10^{-9} + 0.213 (T_g - T_a)\ v^{0.5} \qquad (5.3)$$

วิธีการหัวข้อ 5.2.4.2ข. วัด t_o, t_a, v แล้วนำมาคำนวณหา t_{mrt}

จากคู่มือการใช้ comfort meter 1212 ตาม ISO 7730
เมื่อทราบค่า t_o , t_a จะหาค่า t_{mrt} จากสูตร

$$t_{mrt} = 2t_o - t_a \qquad (5.4)$$

(ในกรณี v น้อยกว่า 0.2 m/s)

และจากการทดลองพบว่า สมการที่ 5.3 และ 5.4 ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้สมการ 5.3 หาค่า t_{mrt} โดยใช้เครื่อง WBGT วัด t_g และ t_a และ Hot wire วัดความเร็วอากาศ

5.2.5 การหาค่า metabolic rate ,ความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้าของคนทดสอบ จะหาได้จากแบบสอบถามที่ถามถึงลักษณะงานและการแต่งกายของคนทดสอบเพื่อมาเปิดตาราง 5.2 , 5.1 หาว่าแต่ละคนมีองค์ประกอบทางความร้อนอย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย