บทที่ 3

การประเมินค่าในทางปฏิบัติของสิ่งแวดล้อมทางความร้อน

ในบทที่แล้วเราได้ศึกษาเกี่ยวกับเงื่อนไขของ Thermal comfort ซึ่งจะใช้ในการออกแบบและการทำงานของระบบสิ่งแวดล้อมทางความร้อน ในทางปฏิบัติจะมีการวัดค่าตัวแปรต่างๆ ของสิ่งแวดล้อมในห้องหรือสถานที่กำลังศึกษาอยู่ แต่ก็มีคำถามว่า เมื่อมีการเบี่ยงเบนค่าไปจากเงื่อนไขความสบาย (เงื่อนไขเดียวกันแต่คนรู้สึกต่างระดับกัน) ตัวแปรที่วัดได้จะหมายความว่าอย่างไร ดังนั้น จึงมีดัชนีแสดงความรู้สึกทางความร้อนของคนอยู่ 2 ตัว คือ

3.1 ดัชนีทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted mean vote ;PMV)

เพราะว่าสมการความสบายเป็นเงื่อนไขของ Thermal comfort อย่างไรก็ตาม สมการนี้จะให้ข้อมูลว่าตัวแปรต่างๆ ควรเป็นเท่าใด เพื่อให้เกิด Thermal comfort แต่ไม่สามารถบอกให้เข้าใจถึงความรู้สึกของคนที่มีต่อสภาพอากาศในขณะนั้นได้ จึงต้องมีดัชนีที่ใช้ทำนายความรู้สึกของคนว่าจะเป็นอย่างไร กับสิ่งแวดล้อมทางความร้อนที่เป็นอยู่

ตาม Ashrae scale จะใช้การวัดความรู้สึกทางความร้อน 7 ระดับคือ

-3	หนาวมาก	-2	หนาว	-1	หนาวเล็กน้อย	0	พอดี
+1	ร้อนเล็กน้อย	+2	ร้อน	+3	ร้อนมาก		

(สเกลตัวเลขข้างบนสามารถเปลี่ยนเป็น 1 ถึง 7 ได้)

เมื่อสภาพอากาศเป็นไปตามสมการความสบาย จะได้ผลการโหวตเฉลี่ยเป็น 0 และเป็นที่ทราบดีว่าร่างกายคนเรา จะพยายามรักษาสมดุลความร้อนด้วย Effector mechanisms เช่น การขับเหงื่อ การสั่นของร่างกาย ฯลฯ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าถ้าดีกรีของความไม่สบายมากขึ้น effector mechanism ที่เบี่ยงเบนจากสภาวะที่สบายก็ทำงานมากขึ้นด้วย ดังนั้นเราจะสมมุติว่าความรู้สึกทางความร้อนที่กำหนด Activity ไว้เป็นฟังก์ชั่นของ Thermal Load ; L ของร่างกายคน หมายถึง ค่าแตกต่างระหว่างการผลิตความร้อนภายในร่างกาย (Internal heat

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

production) กับ การสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมของคนที่มีสมมุติฐานว่าสามารถรักษาความสบายของอุณหภูมิผิวหนังเฉลี่ยและการขับเหงื่อตาม Activity ที่กำหนด

จากนิยามของ Thermal load ต่อหนึ่งหน่วยพื้นผิวของร่างกาย และสมการที่ 2.27 สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ ได้เหมือนสมการความสบาย ดังนี้

$$L = M/A_{DU}(1-\eta) -0.35 [43-0.061 M/A_{DU} (1-\eta)-P_a] -0.42(M/A_{DU}(1-\eta)-50) -0.0023M/A_{DU}(44-P_a) -0.0014 M/A_{DU}(34-t_a) -3.4*10^{-8} f_{cl} [(t_{cl}+273)^4-(t_{mrt}+273)^4] -f_{cl} . h_c(t_{cl} - t_a) \quad (kcal /m^2.hr) \qquad (3.1)$$

และ $$t_{cl} = 35.7 - 0.032 M/A_{DU} (1-\eta) - 0.18I_{cl} [3.4*10^{-8}f_{cl} [(t_{cl}+273)^4 -(t_{mrt} +273)^4] + f_{cl}.h_c (t_{cl}-t_a)] \quad (^{\circ}c) \qquad (3.2)$$

เมื่อ h_c หาได้จากสมการ (2.20),(2.21)

ในกรณีที่อยู่ในเงื่อนไขความสบายค่าภาระทางความร้อนจะเท่ากับศูนย์ นอกนั้น effector mechanism จะเปลี่ยนอุณหภูมิเฉลี่ยของผิวหนัง และการขับเหงื่อเพื่อรักษาสมดุลความร้อนของร่างกายคน เพราะฉะนั้น Thermal load เป็นตัวแสดงให้เห็นถึงความเครียด (strain) ทางกายภาพที่ขึ้นอยู่กับ effector mechanism ของร่างกายคน จึงพูดได้ว่าความรู้สึกทางความร้อน ณ. Activity ที่กำหนด สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Y = f (L , H/A_{DU}) \qquad (3.3)$$

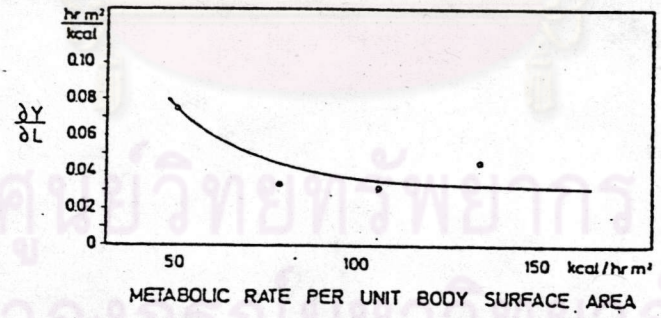
ความรู้สึกทางความร้อนจะแสดงโดยการโหวตเฉลี่ย ; Y บนสเกล สมการที่ (3.3) ใช้เป็นพื้นฐานในการทดลอง โดยคุมตัวแปรทางสิ่งแวดล้อมไว้ และใช้คนทดสอบเป็นจำนวน 1396 คน จากผลการทดลองของ Nevins และ Mcwall ในเวลา 3 ชั่วโมงจะได้ข้อมูลดังนี้

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตเฉลี่ยกับอุณหภูมิล้อมรอบ

Activity Level	M/A_{Du} kcal/hr m²	I_{cl} clo	v m/s	Mean Vote Y at rh = 50%
Sedentary.....	50	0.6	0.1	Y = −8.471 ÷ 0.331t
Low.....	80	0.6	0.2	Y = −3.643 ÷ 0.175t
Medium.....	106	0.6	0.25	Y = −3.356 ÷ 0.174t
High.....	135	0.6	0.32	Y = −4.158 ÷ 0.265t

(Y = 0 คือโหวตที่รู้สึกสบาย)

จากตารางที่ 3.1 มีความสัมพันธ์ระหว่างการโหวตเฉลี่ย ; Y กับอุณหภูมิล้อมรอบ ; t (Ambient temp) เมื่ออุณหภูมิอากาศ = อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย และถ้าแทนค่า M/A_{DU}, I_{cl}, v ในสมการ 3.1,3.2 ทั้ง 4 Activitys จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง t กับ L แทนค่าในตารางที่ 3.1 ก็จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ L สามารถ PLOT ได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ∂Y/∂L เป็นฟังก์ชั่นของ Metaboric rate

จากจุดทั้ง 4 ที่พล็อตจะเห็นได้ว่า dY/dL ลดลงเป็นลักษณะ exponential curve จากเส้นผ่านจุด M/A_{DU} = 50 kcal/m^2.hr ซึ่งเป็นจุดที่ใช้คนทดสอบมากกว่าจุดอื่น เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dY/dL = 0.352\ e\ \hat{}(-0.042M/A_{DU}) + 0.032 \quad (m^2hr/kcal) \quad (3.4)$$

อินทิเกรตจะได้

$$Y = (0.352\ e\ ^{\wedge}(0.042\ M/A_{DU}) + 0.032)\ .\ L \qquad (3.5)$$

เมื่อ $Y = 0$, $L = 0$

Y ใน(3.5) ก็คือ PMV และเมื่อแทนค่า (3.1) ใน (3.5) จะได้ว่า

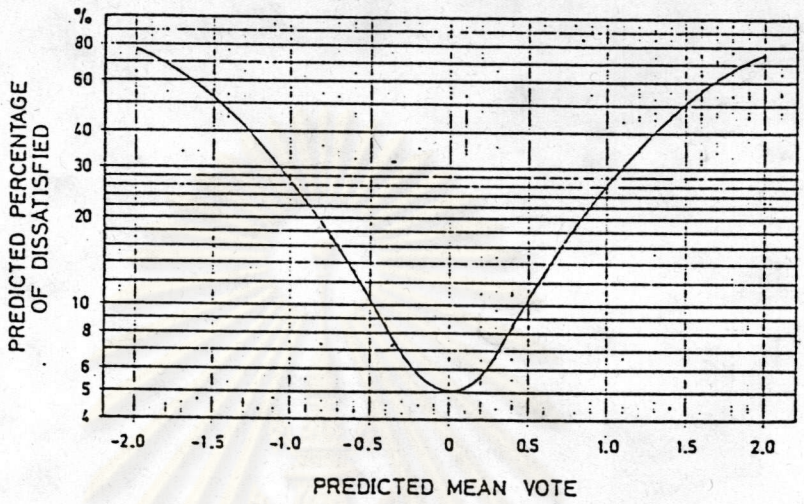
$$PMV = (0.352e^{-0.042M/Adu} + 0.032)[\ M/A_{DU}\ (1-\eta) - 0.35[\ 43 - 0.061M/A_{DU}\ (1-\eta)-P_a] - 0.42[M/A_{DU}(1-\eta)-50\ ] - 0.0023\ M/A_{DU}(44-P_a) - 0.0014\ M/A_{DU}*\ (34-t_a)-3.4*10^{-8}\ f_{cl}[(t_{cl}+273)^4 - (t_{mrt}+273)^4 - f_{cl}.h_c(t_{cl}-t_a)] \qquad (3.6)$$

3.2 เปอร์เซนต์ทำนายความรู้สึกไม่สบาย (Predicted precentage dissatisfied;PPD)

ดัชนีความรู้สึกทางความร้อนที่กล่าวถึง ในหัวข้อที่แล้วเป็น PMV ของกลุ่มคนทดสอบในสภาวะที่มีตัวแปรหลายๆ ตัวรวมกัน การโหวตเฉลี่ยจะแสดงถึงอันดับของความไม่สบายของกลุ่มคนทั้งหมด ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะอธิบายขนาดของ PMV ในห้องว่าหมายความว่าอย่างไร เช่น PMV = -0.30 เป็นค่าระหว่างกลางกับหนาวเล็กน้อยใช่หรือไม่ สามารถยอมรับได้ไหม? ถ้าความรู้สึกของคนทั้งหมดเหมือนกับผลการโหวตเฉลี่ย คำตอบก็คือ ใช่ แต่เป็นที่ทราบกันอยู่แล้วว่า ความรู้สึกของคนไม่เหมือนกันถึงจะอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันก็ตาม ดังนั้นบางคนจะรู้สึกไม่ค่อยสบายต่อสภาพอากาศในห้องนั้นก็เป็นได้

แทนที่จะใช้ PMV เป็นตัวบอกให้ทราบถึงสิ่งแวดล้อมทางความร้อน จะมีดัชนีอีกตัวหนึ่งที่บอกให้ทราบถึงเปอร์เซนต์ของกลุ่มคนที่รู้สึกไม่สบาย คือโหวตที่ร้อนมาก (+3),ร้อน(+2) และหนาว(-2), หนาวมาก (-3) ดัชนีตัวนั้นได้แก่ PPD

ความสัมพันธ์ระหว่าง PMV กับ PPD สามารถหาได้จากการทดลอง ซึ่ง FANGER ได้ทดลองกับชาวเดนมาร์กจำนวน 1296 คน และ Nevins และ Rohles ได้ทดลองกับชาวอเมริกันจนได้กราฟความสัมพันธ์ของ PMV กับ PPD ดังนี้



รูปที่ 3.2 PPD เป็นฟังก์ชั่นของ PMV

หรือจากสมการ

$$PPD = 100 - 95\, e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179\, PMV^2)} \qquad (3.7)$$

จากรูปที่ 3.2 จะใช้เป็นพื้นฐานในการหาค่าสิ่งแวดล้อมทางความร้อน สังเกตุได้ว่า curve ที่ได้จะมีความสมมาตรกัน และมีค่า PPD = 5 % ที่ PMV = 0 จุดนี้จะเป็นเงื่อนไขความสบายที่ Optimum ในการใช้สมการความสบาย ทำให้เป็นจุดที่ต้องปรับเพื่อให้ได้ความสบาย ค่า PMV ที่ −0.35 จะมีค่า PPD มากกว่าจุดต่ำสุด (5%) ประมาณครึ่งหนึ่ง (7.5%) หลังจาก นั้นค่า PPD จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เช่นที่ PMV = −0.5 , −1.0 จะมีค่าเพิ่มเป็น 2 เท่า และมากกว่า 5 เท่า ของจุดที่ต่ำสุด และแสดงให้เห็นค่าเป็นไปไม่ได้ ที่กลุ่มคนจะมีความพอใจในสภาพอากาศทุกคน ถึงแม้ว่าจะเป็นระบบสิ่งแวดล้อมที่สมบูรณ์ มีการแต่งกาย และ Activity ที่เหมือนกัน