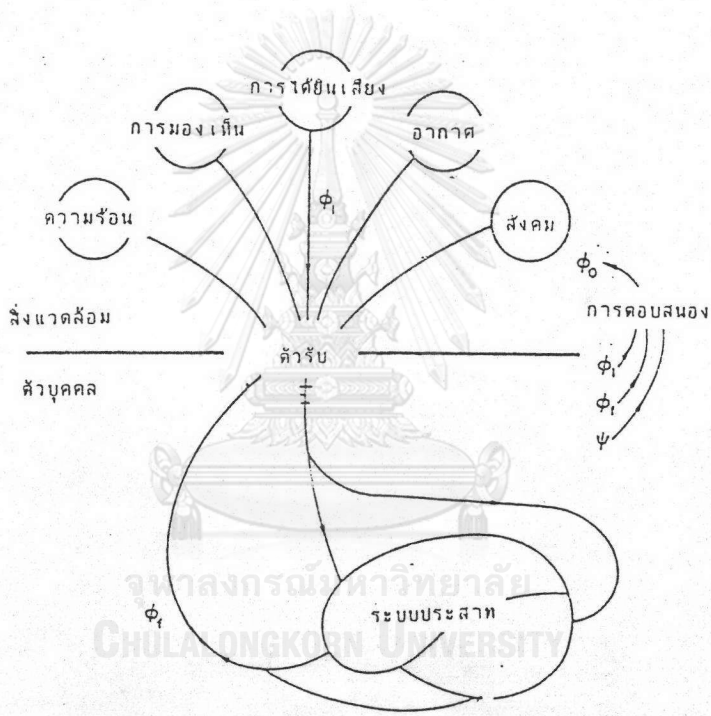
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 การรับรู้ความรู้สึกของมนุษย์(Sensory Perception)



รูป 2.1 ขบวนการรับความรู้สึก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อมีสิ่งต่างๆจากภายนอก เช่น ความร้อน แสง เสียง มากระทำต่อมนุษย์ จะเกิดการรับและการตอบสนองขึ้น ซึ่งการตอบสนองของมนุษย์ขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ อันได้แก่ ความเข้มที่มากระตุ้น(Intensity Input),ϕ_i ฟังก์ชั่นการตอบสนอง(Feedback Function,ϕ_f) และฟังก์ชั่นทางจิตใจ (Psyche function,ψ) ดังนั้นสามารถเขียนความสัมพันธ์ของการตอบสนองของมนุษย์(Human Response Function) ได้ดังนี้

$$\phi_o = f(\phi_i, \phi_f, \psi)$$

Weber,Fechner(10) ได้ศึกษาว่ามนุษย์แต่ละคน สามารถที่จะรับตัวแปรต่างเหล่านี้ได้ไม่เท่ากัน ยังขึ้นอยู่กับระดับการตื่นตัว(Arousal) ซึ่งความหมายของระดับการตื่นตัว(Arousal Level) หมายถึงการวัดที่จะทราบว่า ระบบอวัยวะนั้นมีความตื่นตัวมากน้อยเพียงใด และความพร้อมในการตอบสนองปฏิกริยาที่มากระทำนั้นมีมากน้อยแค่ไหน("a measure of now awake the organism is and how ready it is to react") และได้พบว่า ระดับการตื่นตัว ยังขึ้นอยู่กับ อัตราการเผาผลาญภายในร่างกาย (Metabolic Rate)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.2 สภาพความสบาย(Comfort Condition)

ถ้าเราทำการเปรียบเทียบเสียง หรือแสง ให้เป็นแรงชนิดหนึ่งที่มากระทำต่อมนุษย์ ซึ่งจะทำให้เกิด ความเค้นและความเครียดขึ้น ดังนั้นมนุษย์จะอยู่ในสภาพสบายได้ ก็ต่อเมื่อเกิดความสมดุลระหว่างความเค้นที่เกิดกับทางร่างกาย โดยสิ่งแวดล้อม กับ ความเค้นที่เกิดขึ้นกับจิตใจ

$$X(t)phy = X(t)psy$$

Weber, Fechner(10) และผู้ร่วมวิจัยอื่นๆ ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ทั้งทางจิตใจ(Psychological) และทาง ร่างกาย(Physiological) โดยในส่วนที่เกี่ยวกับจิตใจ ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$X(t)psy = f(\psi)Y(t) \qquad (2.1)$$

เมื่อ

$X(t)psy$ = ความเค้นที่เกิดกับจิตใจ

$f(\psi)$ = ฟังก์ชั่นทางด้านจิตใจ

$Y(t)$ = ความเครียด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ซึ่งความเครียดสามารถอยู่ในรูปของการบิดเบี้ยว(Distortion, dV) ของปริมาตรของจิตใจ(Mind Sphere Volume,V)

$$Y(t) = (dV/V)_{\psi, a, \phi_f}$$

เมื่อแทนในสมการ(2.1) จะได้

$$X(t)psy = f(\psi)(dV/V)_{\psi, a, \phi_f} \qquad (2.2)$$

ในส่วนที่เกี่ยวกับร่างกาย ที่ถูกกระตุ้นจากตัวแปรของสิ่งแวดล้อม จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$X(t)phy = pk\frac{n(t)}{N}(C \Sigma I)^{0.5} \qquad (2.3)$$

เมื่อ $X(t)phy$ = ความเค้นที่เกิดกับร่างกาย

n = จำนวนช่องทางที่รับตัวแปร

N = ความสามารถในการรับอิทธิพลของตัวแปรของแต่ละช่องทางรับ(Chanel Capacity)

I = ความเข้ม(Intensity)

C = ตัวประกอบความต้านทานของช่องทางรับ (Channel Resistance Factor)

pk = ฟังก์ชั่นความน่าจะเป็น (Probability Function)

ดังนั้นความสบายจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ สมการ(2.2) เท่ากับ สมการ(2.3)

2.1.3 ความสบายทางด้านเสียง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตัวแปรทางด้านเสียงที่มีอิทธิพลต่อความเค้น ทั้งทางร่างกาย และจิตใจ ได้แก่

1 ระดับเสียง(BACKGROUND NOISE) ภายในห้อง ,dBA

2 ระดับเสียงขณะใดขณะหนึ่ง(INTERMITTENT) ภายในห้อง,dBA

3 สมรรถภาพในการได้ยินของหู

4 อายุ

5 เพศ

2.1.4 ความสบายทางด้านแสงสว่าง

ตัวแปรทางด้านแสงสว่างที่มีอิทธิพลต่อความเค้น ทั้งทางร่างกาย และจิตใจ ได้แก่

1 ระดับความส่องสว่างจากดวงโคมโดยตรง,ลักซ์

2 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของ พื้น ผนัง และเพดาน

3 สมรรถภาพในการมองของตา

4 อายุ

5 เพศ

2.2 ความสบายเชิงความร้อน

ทฤษฎีและการวิจัยที่จะสนับสนุน ความสบายเชิงความร้อนของมนุษย์ ของการวิจัยของ คุณประพนธ์(4) ซึ่งปฏิบัติตาม สมการความสบาย(Comfort Equation) ของ Prof. P.O. Fanger(2) ซึ่งได้สร้างสมการนี้มาจากการตั้งสมมุติฐาน และการทดลอง จะได้ดังนี้

$$(M-W)-3.05x10-3\{5733-6.99(M-W)-pa\}-0.42\{(M-W)-58.15\}$$
$$-1.7x10-5\ M(5867-pa)\ -\ 0.0014\ M(34-ta)$$
$$=\ 3.96x10-8\ fcl\{(tcl+273)4-(tr+273)4\}\ +\ fclhc(tcl-ta) \qquad (2.4)$$

เมื่อ

$$tcl\ =\ 35.7\ -\ 0.028(M-W)\ -\ 0.155\ Icl[(M-W)-3.05x10-3\ x$$
$$\{5733-6.99(M-W)-pa\}\ -\ 0.42\{(M-W)-58.15\}\ -$$
$$1.7x10-5\ M(5867-pa)\ -\ 0.0014\ M(34-ta)]$$

$$hc = \begin{cases} 2.38(tcl-ta)0.25 & \text{for } 2.38(tcl-ta)0.25 > 12.1\sqrt{Var} \\ 12.1\sqrt{Var} & \text{for } 2.38(tcl-ta)0.25 < 12.1\sqrt{Var} \end{cases}$$

$$fcl = \begin{cases} 1.00 + 0.2Icl & \text{for } Icl < 0.5 \text{ clo} \\ 1.05 + 0.1Icl & \text{for } Icl > 0.5 \text{ clo} \end{cases}$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าสมการความสบายเชิงความร้อน ไม่ได้ขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นของอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นกับตัวแปรอื่นๆอีก คือ

- ความเร็วอากาศสัมพัทธ์(Relative Air Velocity)
- ระดับของกิจกรรม(Activity Level)
- ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของเสื้อผ้า (Clothing Thermal Resistance)
- อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย(Mean Radiant Temperature)

2.3 การประเมินค่าในทางปฏิบัติของสิ่งแวดล้อมเชิงความร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 การทำนายการโหวตเฉลี่ย(Predicted Mean Vote)

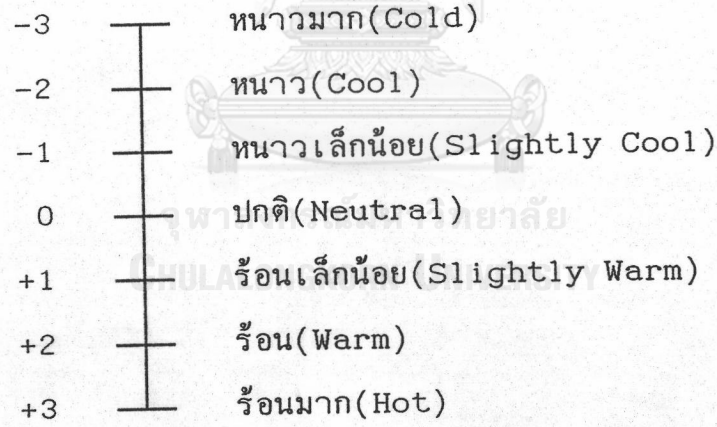
การทำนายการโหวตเฉลี่ย เป็นดัชนีที่ทำนายถึงค่าการโหวตเฉลี่ยของกลุ่มคนจำนวนมาก ที่อยู่ในสภาวะเชิงความร้อนเดียวกัน ระดับของการโหวตจะแบ่งออกเป็น 7 จุด ตามสเกลการวัดความรู้สึกทางความร้อนของสมาคมวิศวกรอเมริกันด้านระบบการปรับอากาศ(ASHRAE)

ซึ่งความหมายเป็นภาษาอังกฤษมีดังนี้

"PMV is an index that predicts the mean vote (thermal sensation) of a large group of people exposed to the same thermal conditions. The vote is based on the seven point ASHRAE Thermal Sensation Scale"

ดัชนีที่หาได้จากหัวข้อนี้จะสามารถทำนาย ค่าความรู้สึกเชิงความร้อน สำหรับที่ ระดับกิจกรรม, ค่า clo และ ตัวแปรทางสภาวะแวดล้อมเชิงความร้อนที่กำหนด

สำหรับการวัดค่าความรู้สึกเชิงความร้อน(Thermal Sensation) โดยทั่วๆไปจะใช้ 7 จุดของสเกลความรู้สึกทั้งทางด้านกายภาพและจิตใจของ ASHRAE ดังนี้



อาจจะมีบางสเกลใช้ 1 ถึง 7 แทน -3 ถึง +3 แต่ที่ใช้อย่างนี้เพื่อง่ายต่อการจำและสมมาตรรอบจุด 0 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่า ค่าบวกแสดงถึงความรู้สึกในด้านอบอุ่น ส่วนค่าลบแสดงถึงความรู้สึกในด้านเย็น ที่ต่างจากระดับปกติ และจะได้สมการการโหวตเฉลี่ย(Predicted Mean Vote,PMV) ของ Fanger(2) ที่ได้จากการวัดความรู้สึกเชิงความร้อน 7 จุด คือ

$$PMV=(0.303e-0.036M+0.028)\{(M-W)-3.05x10-2[5733-6.99(M-W) -pa]-0.42[(M-W)-58.15]-1.7x10-5\ M(5667-pa) -0.0014M(34-ta)-3.96x10-8\ fclx[(tcl+273)4-(tr+273)4] - fclhc(tcl-ta)\} \qquad (2.5)$$

ค่า tcl จากสมการ(27)หาได้โดยการเดาค่าตัวแปรแทนในสมการ จนได้ค่าเท่ากันทั้งสองข้าง โดยแทนค่าในสมการข้างล่างนี้

$$tcl = 35.7-0.028(M-W)-Icl\{3.96x10-8fcl[(tcl+273)4 -(tr+273)4] + fclhc(tcl-ta)\}$$

ค่า hc หาจากสมการ

$$hc = \begin{cases} 2.38(tcl-ta)0.25 & \text{for } 2.38(tcl-ta)0.25>12.2\sqrt{Var} \\ 12.2\sqrt{Var} & \text{for } 2.38(tcl-ta)0.25<12.2\sqrt{Var} \end{cases} \qquad (2.6)$$

$$fcl = \begin{cases} 1.00 + 1.29Icl & \text{for } Icl<= 0.078\ m2\ ^{\circ}C/W \\ 1.05 + 0.645Icl & \text{for } Icl > 0.078\ m2\ ^{\circ}C/W \end{cases} \qquad (2.7)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ

PMV = ดัชนีการทำนายการโหวตเฉลี่ย

M = ค่าการเผาผลาญในร่างกาย, W/m^2 (1 met = 58 W/m^2)

W = กำลังงานภายนอก, W/m^2

Icl = ค่าความต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า, m^2 °C/W

(1 clo = 0.155 m^2 °C/W)

fcl = อัตราส่วนของพื้นผิวของรูปร่างเสื้อผ้ากับพื้นผิวคน(เปลือย)

ta = อุณหภูมิอากาศ, °C

tr = อุณหภูมิการแผ่ความร้อนเฉลี่ย, °C

Var = ความเร็วอากาศสัมพัทธ์, m/s

pa = ความดันไอน้ำในอากาศ, Pa

hc = สัมประสิทธิ์การพาความร้อน, W/m^2 °C

tcl = อุณหภูมิของผิวนอกเสื้อผ้าที่สวมใส่, °C

สำหรับสมการการโหวตเฉลี่ยนั้น ในการวิจัยนี้จะปฏิบัติตามสมการถดถอยเชิงเส้นพหุคุณของการโหวตเฉลี่ยของคนไทย ที่มีลักษณะการทำงานแบบสำนักงานในสถานที่จริง ของคุณประพนธ์ วงษ์ท่าเรือ(4) ที่ได้ทำการศึกษาไว้แล้วดังนี้

$$Y = -4.0435 + 0.0127X1 + 8.544X2 + 0.2725X3 \qquad (2.8)$$

เมื่อ Y = ค่าการโหวต

X1 = ระดับกิจกรรม(Activity Level), W/m^2

X2 = ค่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนของเสื้อผ้า

(Clothing Thermal Resistance), m^2 °C/W

X3 = อุณหภูมิของอากาศภายในห้อง, °C

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4 แสงสว่างและการมอง

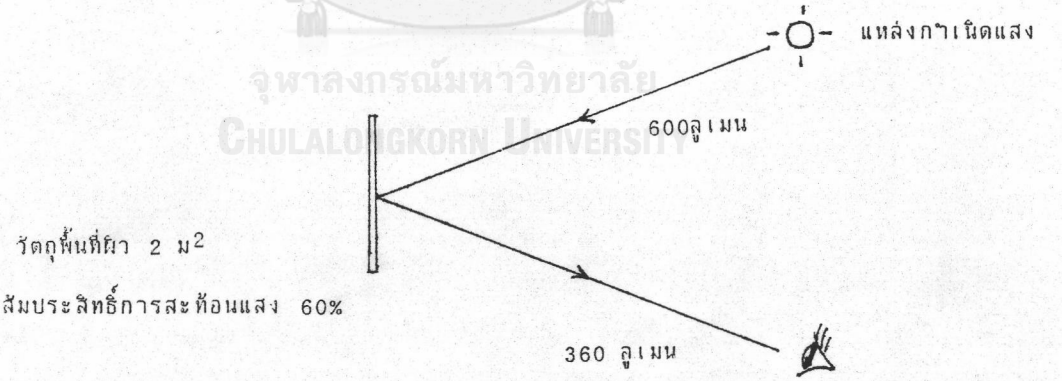
ในที่นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีแสงสว่าง ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการมองและการคำนวณระดับแสงสว่าง

2.4.1 ลูมิแนนซ์และอิลูมิแนนซ์(Luminance and Illuminance)

ก. ลูมิแนนซ์ หมายถึง ความส่องสว่างที่ปรากฏให้เห็น มีหน่วยเป็นแคนเดลา/ม^2

ข. อิลูมิแนนซ์ หมายถึง ความหนาแนนของปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นผิว มีหน่วยเป็น ลูเมน/ม^2 หรือ ลักซ์

รูปที่ 2.2 แสดงให้เข้าใจความหมายของลูมิแนนซ์แบบง่ายๆ โดยแหล่งกำเนิดแสงจ่ายปริมาณแสง 600 ลูเมน ทั้งหมดลงบนพื้นผิว 2 ตารางเมตร โดยพื้นผิวมีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง 60% ปริมาณแสงที่สะท้อนออกมา 360 ลูเมน



รูปที่ 2.2 ปริมาณแสงตกกระทบและสะท้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อิลูมิแนนซ์ = $\frac{\text{ปริมาณแสงตกกระทบ}}{\text{พื้นที่}}$ = 600/2 = 300 ลักซ์

ลูมิแนนซ์ = $\frac{\text{ปริมาณแสงสะท้อน}}{\text{พื้นที่}}$ = 600x0.6/2 = 180 cd/m2

ความสามารถในการมองเห็นวัตถุ ขึ้นอยู่กับลูมิแนนซ์และสภาพแวดล้อมด้านข้าง ถ้าสภาพแวดล้อมด้านข้างมีค ลูมิแนนซ์ หรือความสว่างของวัตถุมีไม่มาก ซึ่งทำให้เกิดความแตกต่างเพียงพอ ก็จะสามารถมองเห็นได้ง่าย ถ้าสภาพแวดล้อมสว่างมีความใกล้เคียงกับความสว่างของวัตถุ ก็จะทำให้เกิดความยากในการมอง

2.4.1.1 ค่าอิลูมิแนนซ์ต่างๆ

อิลูมิแนนซ์หรือความเข้มของแสงที่ตกกระทบบนวัตถุ ควรมีค่าเป็นเท่าใด ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่างตั้งแต่ ความสามารถในการมองเห็นงาน และความพอใจในแสงสว่างที่ปรากฏให้เห็น และความประหยัด อิลูมิแนนซ์เป็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ที่ใช้ในการออกแบบไฟแสงสว่าง ยังมีสิ่งอื่นๆที่ต้องนำมาพิจารณา ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อๆไป อิลูมิแนนซ์สำหรับงานแต่ละชนิด ได้แสดงไว้ในตารางที่ ฉ.1(ภาคผนวก ฉ.) และอิลูมิแนนซ์ที่คำนวณได้ต้องไม่น้อยกว่า 80% ของค่าที่แนะนำใน ตารางนี้

ระดับของพื้นที่ทำงาน(Working Plane) ที่ใช้ในการคำนวณอิลูมิแนนซ์ คือระดับ 0.85 เมตร สำหรับงานที่ยืนทำ และระดับ 0.75 เมตร สำหรับงานที่นั่งทำ

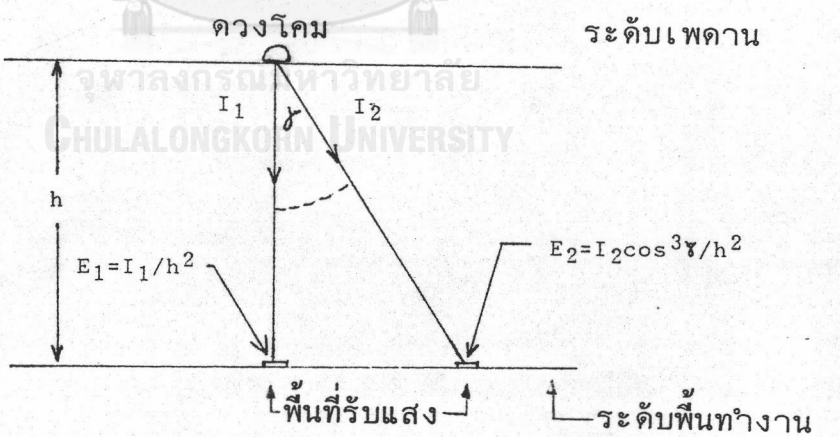
2.4.1.2 อิลูมิแนนซ์ที่กำแพง

อิลูมิแนนซ์ที่กำแพงควรอยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 0.8 เท่าของอิลูมิแนนซ์ในแนวราบ ข้อควรพิจารณาเพื่อให้เกิดความสบายและความพอดีในการมองมีดังนี้

- ลูมิแนนซ์ที่กำแพงไม่ควรมีค่าสูงกว่าลูมิแนนซ์ของเนื้องาน
- อิลูมิแนนซ์ที่กำแพงไม่ควรเกิน 700 ลักซ์ ยกเว้นสิ่งที่ต้องการเน้น

2.4.1.3 อิลูมิแนนซ์ที่เพดาน

ค่าอัตราส่วนของอิลูมิแนนซ์ที่เพดานกับอิลูมิแนนซ์ในแนวระดับ ควรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.9 ถ้าค่าน้อยกว่า 0.3 เพดานจะดูมืดและถ้ามากกว่า 0.9 เพดานก็จะสว่างมากไป ซึ่งจะทำให้เกิดความไม่สบายในการมอง แต่ถ้าอิลูมิแนนซ์ที่เพดานมีค่าใกล้เคียงกับค่าอิลูมิแนนซ์ในแนวระดับ ก็จะทำให้เป็นจุดสนใจเกินไป



รูปที่ 2.3 อิลูมิแนนซ์ใต้โคมและที่พื้นราบแนวมุม γ

2.4.1.4 การกระจายค่าลูมิแนนซ์และการตกแต่งภายใน

การกระจายลูมิแนนซ์ ถือเป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมในการออกแบบแสงสว่างภายใน ซึ่งประกอบด้วยการพิจารณาดังนี้

- ลูมิแนนซ์ของเนื้องานและสิ่งรอบข้างของเนื้องาน
- ลูมิแนนซ์ของเพดานและกำแพง
- จำกัดลูมิแนนซ์ของแสงจากโคมและหน้าต่างที่ทำให้เกิดแสงรบกวน

2.4.1.5 การกระจายค่าลูมิแนนซ์ของเนื้องาน

ค่าลูมิแนนซ์ของสิ่งรอบข้างที่ติดกับเนื้องาน(Object) ต้องมีค่าต่ำกว่าค่าลูมิแนนซ์ของเนื้องาน แต่ไม่น้อยกว่า 1/3 ของเนื้องาน

2.4.1.5 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน กำแพง และพื้น

ถ้าห้องสูงประมาณ 3 เมตร สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดานควรมากที่สุดคือ มากกว่า 0.7 โดยเฉพาะเมื่อใช้โคมฝัง สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของกำแพง ควรอยู่ระหว่าง 0.3 ถึง 0.8 กำแพงที่มีสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสูงจะทำให้เกิดแสงรบกวนแบบไม่สบายตา(Discomfort Glare) ส่วนสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของพื้น ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.2 ถึง 0.4

2.4.2 การคำนวณแสงสว่าง

การคำนวณแสงสว่างเพื่อให้ได้อิลูมิแนนซ์ตามที่ต้องการ ของพื้นที่ใช้งานในแต่ละชนิด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ การคำนวณแบบจุดต่อจุด และ การคำนวณแบบวิธีลูเมน การคำนวณแบบจุดต่อจุดเป็นการคำนวณที่ละเอียด ซึ่งวิธีนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการอิลูมิแนนซ์อย่างละเอียดเป็นจุดๆ หรือต้องการความสว่างเป็นส่วนๆ ส่วนการคำนวณโดยวิธีลูเมนเป็นการคำนวณสำหรับบริเวณ หรือพื้นที่ที่ต้องการแสงสว่างสม่ำเสมอทั้งพื้นที่

2.4.2.1 การคำนวณแบบจุดต่อจุด

การคำนวณอิลูมิแนนซ์แบบจุดต่อจุด จำเป็นจะต้องทราบกราฟการกระจายของแสงของโคม และสามารถหาค่าอิลูมิแนนซ์ที่จุดต่างๆ ได้โดยใช้สมการที่ 2.9 และ 2.10(รูปที่ 2.3) ดังนี้

อิลูมิแนนซ์ใต้โคม $E1 = I1/h^2$ (2.9)

อิลูมิแนนซ์ที่พื้นราบแนวมุม θ $E2 = (I2/h^2)\cos^3\theta$ (2.10)

I = ความเข้มแสง ,แคนเดลา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.2.2 การคำนวณโดยวิธีลูเมน

การคำนวณโดยวิธีนี้ เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณ โดยไม่เน้นเป็นจุด เช่น แสงสว่างในสำนักงาน ความเข้ม หรืออิลูมิแนนซ์โดยทั่วไป จะถูกกำหนดไว้เป็นคำแนะนำว่าห้องหรือบริเวณใด ควรจะมีความเข้มแสงอย่างต่ำเท่าใด เช่น ในตารางที่ ฉ.1(ภาคผนวก ฉ.) สูตรการคำนวณการส่องสว่างโดยวิธีลูเมน มีดังนี้

$$E(\text{ลักซ์}) = \frac{L \times N \times CU \times MF}{A} \qquad (2.11)$$

เมื่อ

L = จำนวนลูเมน/หลอด

N = จำนวนหลอด

CU = สัมประสิทธิ์การใช้งาน(Coefficient of Utilization)

MF = แฟคเตอร์การบำรุงรักษา 0.5-0.9
(หลอดสะอาดมาก 0.9, หลอดสกปรก 0.5)

A = พื้นที่ห้อง,ตารางเมตร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.4.2.3 สัมประสิทธิ์การใช้งาน CU

ขึ้นอยู่กับชนิดของดวงโคม,สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของเพดาน(ρ_c) กำแพง(ρ_w), และพื้น(ρ_f), ขนาดของห้องและการติดตั้งโคมค่า CU หาจากตารางของโคมที่กำหนดมาจากผู้ผลิต แล้วแต่ว่าโคมนั้นกำหนดการหาจาก ค่าอัตราส่วนโพรง(RCR,Room Cavity Ratio)หรือดัชนีห้อง(K,Room Index)

ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.12) และ (2.13)

$$RCR = \frac{5H(L+W)}{L \times W} \qquad (2.12)$$

$$K = \frac{L \times W}{H(L+W)} \qquad (2.13)$$

H = ความสูงของโคมเหนือบริเวณที่ต้องการส่องสว่าง, เมตร

L = ความยาวของห้อง, เมตร

W = ความกว้างของห้อง, เมตร

เมื่อได้ค่า RCR หรือ K ก็นำไปเปิดตารางหาค่า CU ของโคมจากผู้ผลิต โดยใช้สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่วัดได้ ในกรณีที่ไม่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ที่แท้จริง แต่ที่ทราบเฉพาะชนิดและวัสดุก็สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ได้จาก ตารางที่ ฉ.2(ภาคผนวก ฉ.)

2.5 เสียงภายในสภาพแวดล้อมภายในห้อง

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อระดับเสียงภายในห้อง และ ต่อผู้ฟัง สามารถแบ่งพิจารณาได้ดังนี้

2.5.1 การดูดซับเสียง(Sound Absorption)

2.5.1.1 ผลของการเพิ่มวัสดุดูดซับเสียงในห้อง

ในห้องที่ไม่มีวัสดุดูดซับเสียง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงเท่าๆกับการได้ยินเสียงที่มาจากการสะท้อนจากเพดาน พื้น และกำแพงของห้อง ถ้าในห้องนั้นมีการติดวัสดุดูดซับเสียง ผู้ฟังจะได้ยินเสียงที่มาจากการสะท้อนน้อยลง แต่เสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรงยังจะได้ยินเท่าเดิม

2.5.2 การวัดค่าการดูดซับเสียง(Measurements of Absorption)

ประสิทธิ์ภาพของวัสดุทุกชนิด ที่สามารถเป็นตัวดูดซับเสียงได้ ก็จะสามารถแทนได้ด้วย ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง(Absoption Coefficient,α) ซึ่งความหมายของค่าสัมประสิทธิ์นี้ก็คือ เศษส่วนของพลังงานเสียงที่ตกกระทบบนวัสดุดูดซับเสียง ตามทฤษฎีจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 (ไม่มีการดูดซับเสียงเลย) ถึง 1(ดูดซับพลังงานเสียงทั้งหมด) ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงสามารถหาได้จากการนำวัสดุมาทดสอบ หรือคำนวณจากการวัดในสถานที่จริง โดยเปิดตารางค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียงของวัสดุชนิดต่างๆ (ตาราง ฉ.3 ภาคผนวก ฉ.) ซึ่งสามารถหาได้ จากสูตร

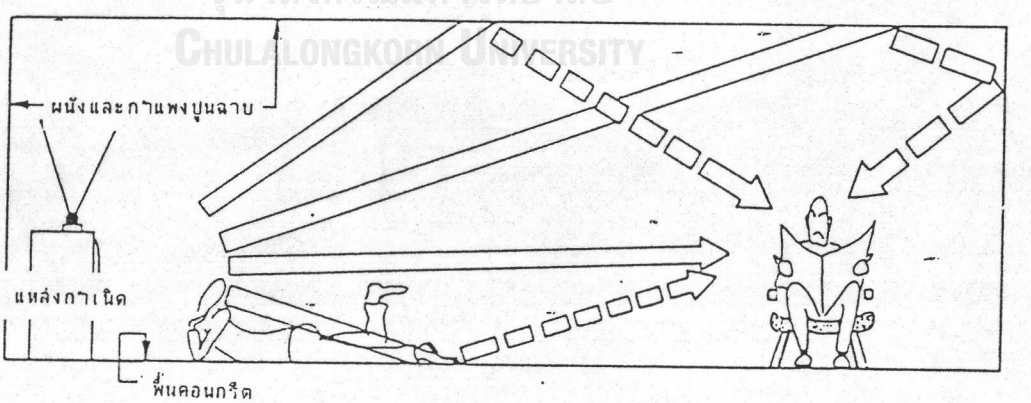
$$a = \Sigma(S\alpha) \qquad (2.14)$$

เมื่อ a = ค่าการดูดซับรวมของห้อง,ซาบินส์(sabins)

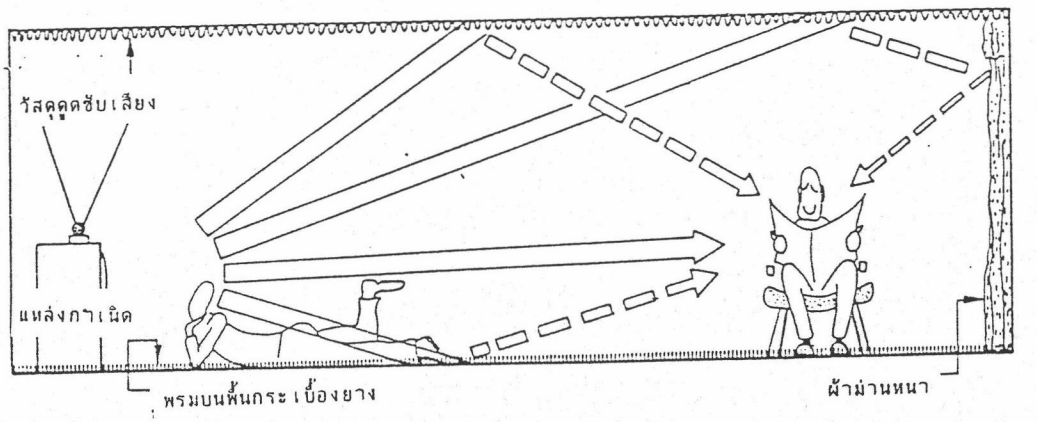
S = พื้นที่ผิว,ตารางฟุต

α = ค่าสัมประสิทธิ์การดูดซับเสียง

ลักษณะเสียงของห้องที่ไม่มีการติดวัสดุดูดซับเสียง



ลักษระเสียงของห้องที่หลังจากมีการติดวัสดุดูดซับเสียงแล้ว



หมายถึงได้ยินเสียงจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง

หมายถึงเสียงที่ได้ยินจากการสะท้อนจากพื้น ผนังและเพดาน

<u>หมายเหตุ</u> จากรูปทั้งสองนี้ ขนาดของลูกศรประจะแสดงระดับของที่สะท้อนว่าดังมากน้อยอย่างไร

2.5.3 การใช้วัสดุดูดซับเสียง

การใช้วัสดุดูดซับเสียง มีวัตถุประสงค์ดังนี้

2.5.3.1 เพื่อควบคุมการสะท้อนของเสียง(Reverberation Control)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

วัสดุดูดซับเสียงใช้เพื่อควบคุมการสะท้อนของเสียง ทุกๆ 2 เท่าของค่าการดูดซับเสียง(Absorption) ของห้อง จะสามารถลดเวลาในการสะท้อนเสียงได้ครึ่งหนึ่ง ซึ่งเวลาในการสะท้อนของเสียง สามารถหาได้จากสูตร

$$T = 0.05V/a \qquad (2.15)$$

เมื่อ T = เวลาในการสะท้อน,วินาที

V = ปริมาตรของห้อง,ตารางฟุต

a = ค่าการดูดซับรวมของห้อง,ซาบินส์

2.5.3.2 เพื่อลดเสียงรบกวนในห้อง

เมื่อใช้วัสดุดูดซับเสียงอย่างถูกต้อง จะทำให้สามารถควบคุมเสียงรบกวน(Noise) ที่เกิดขึ้นภายในห้องให้ลดลงได้ ซึ่งในทุกๆ 2 เท่าของค่าการดูดซับเสียงรวมของห้อง จะสามารถลดเสียงรบกวนลงได้ 3 เดซิเบล

2.5.3.3 เพื่อควบคุมเสียงก้อง(Echo Control)

วัสดุดูดซับเสียงใช้ในการควบคุมเสียงก้อง ที่เกิดจากการสะท้อนของเสียงภายในห้อง

2.5.4 การลดลงของเสียงรบกวนในห้อง(Room Noise Reduction)

การเพิ่มขึ้นของระดับเสียงภายในห้อง ส่วนหนึ่งอาจจะมาจากการสะท้อนซ้ำๆของเสียงภายในพื้นที่ผิวปิด การเพิ่มขึ้นของเสียงที่เกิดจากเหตุนี้เป็นผลโดยตรงกับค่าการดูดซับเสียงรวมของห้องนั้นๆ ผลต่างของค่าเดซิเบลของระดับเสียงภายในห้อง ภายใต้ห้องที่มีค่าการดูดซับเสียงที่แตกต่างกันสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$NR = 10\log(a2/a1) \qquad (2.16)$$

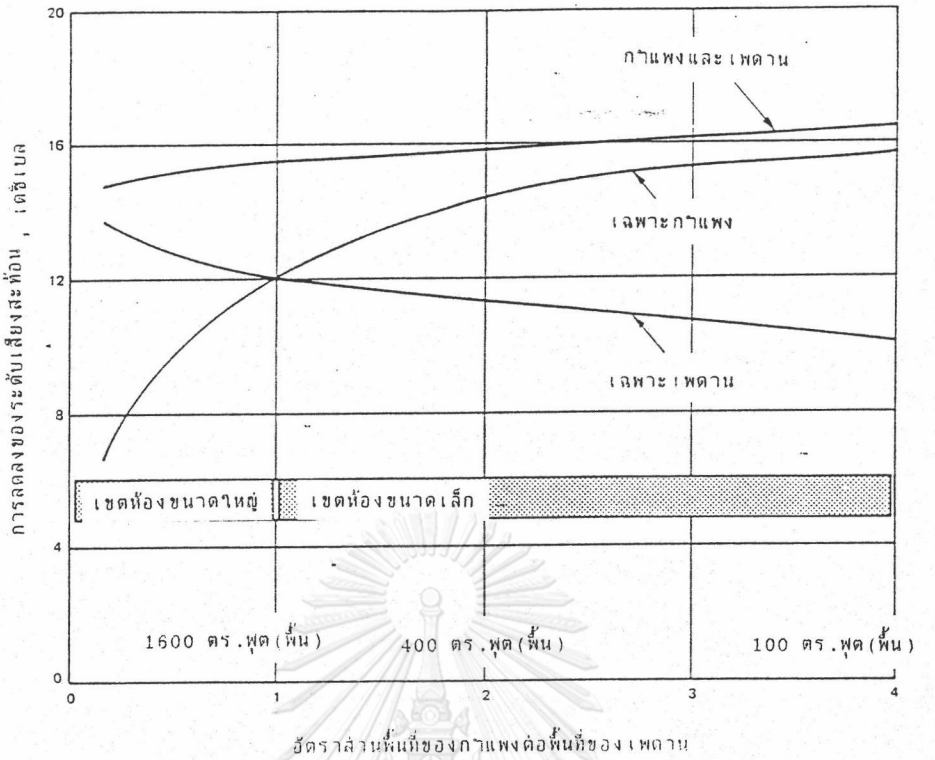
เมื่อ

NR = ระดับเสียงรบกวนที่ลดลง, เดซิเบล

a2 = ค่าการดูดซับรวมหลังจากมีการปรับปรุง, ซาบินส์

a1 = ค่าการดูดซับรวมก่อนมีการปรับปรุง, ซาบินส์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลดลงของเสียง

2.5.5 การเปรียบเทียบการใช้วัสดุดูดซับเสียงระหว่าง กำแพง และเพดาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 2.5 จะเป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของ การลดลงของเสียงรบกวน เมื่อมีการจัดรูปแบบการใช้วัสดุดูดซับเสียงกับกำแพงและเพดาน

2.5.6 ค่า Noise Criteria

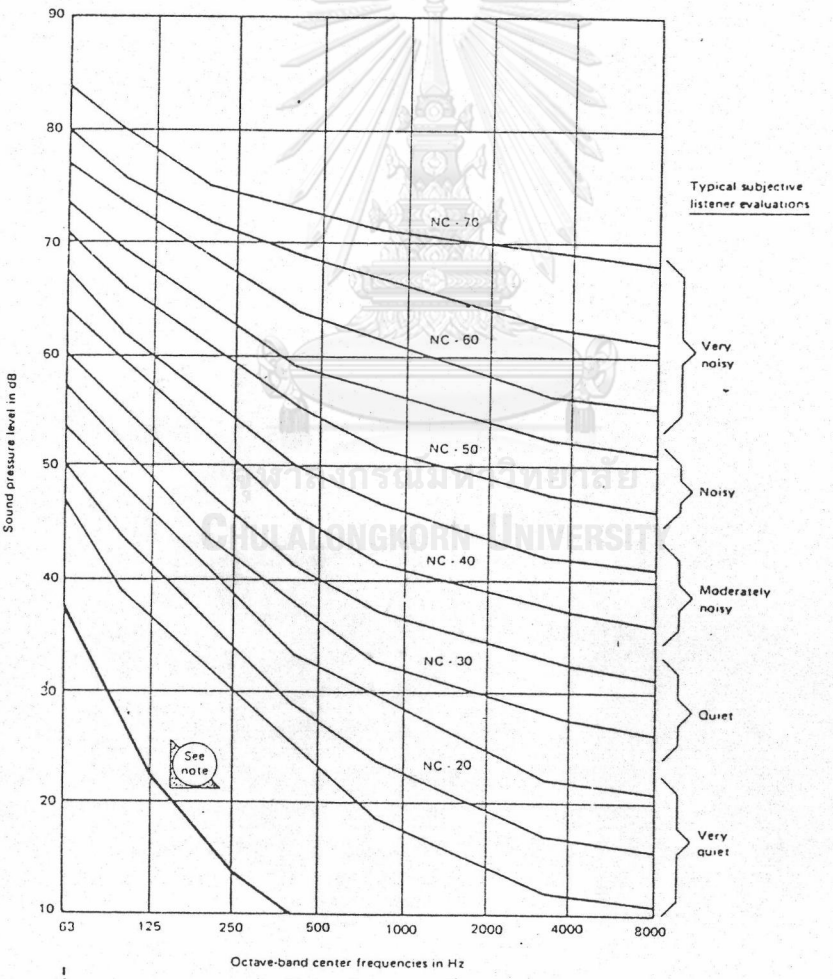
กราฟ Noise Criteria(NC) สามารถใช้เป็นวิธีที่จะกำหนดระดับของเสียงรบกวน(Background Noise) เพื่อที่จะสามารถแยกแยะระดับของเสียงจากแหล่งต่างๆได้ตามต้องการ และสำหรับการหาค่าเสียงรบกวน(Noise) ให้อยู่ในระดับที่เป็นที่พอใจ ค่าต่างๆที่แสดงในตารางที่ 2.1 เป็นค่าแนะนำ NC สำหรับการใช้งาน ประเภทต่างๆโดยที่แต่ละเส้นกราฟของ NC จะให้ความหมายเป็น ระดับกำลังเสียง(sound power level) สำหรับความถี่ทั้ง 8 คู่แถบ ดังแสดงในรูปที่ 2.6

ตาราง 2.1 ค่าแนะนำ NC สำหรับงานต่างๆ

Type of Space (and listening requirements)	Preferred Range of Noise Criteria*	Equivalent dBA Level†
Concert halls, opera houses, recording studios, recital halls, etc. (for excellent listening conditions)	NC-15 to NC-20	25 to 30
Bedrooms, sleeping quarters, hospitals, residences, apartments, hotels, motels, etc. (for sleeping, resting, relaxing)	NC-20 to NC-30	30 to 40
Auditoriums, theaters, radio/TV studios, music practice rooms, large meeting rooms, audio-visual facilities, large conference rooms, executive offices, churches, courtrooms, chapels, etc. (for very good listening conditions)	NC-20 to NC-30	30 to 40
Private or semiprivate offices, small conference rooms, classrooms, reading rooms, libraries, etc. (for good listening conditions)	NC-30 to NC-35	40 to 45
Large offices, reception areas, retail shops and stores, cafeterias, restaurants, gymnasiums, etc. (for fair listening conditions)	NC-35 to NC-40	45 to 50
Lobbies, corridors, laboratory work spaces, drafting and engineering rooms, general secretarial areas, maintenance shops such as for electrical equipment, etc. (for moderately fair listening conditions)	NC-40 to NC-45	50 to 55
Kitchens, laundries, school and industrial shops, garages, machinery spaces, computer equipment rooms, etc.	NC-45 to NC-55	55 to 65

2.5.7 เสียงที่มาจากระบบปรับอากาศและระบายอากาศ

การประมาณเสียงที่มาจากระบบระบายอากาศ โดยเริ่มจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยตรง(Primary Source) ซึ่งได้แก่พัดลม เสียงจากพัดลมนี้เมื่อผ่านมาตามระบบท่อจะถูกลดลงตามส่วนต่างๆของระบบ การลดลงของเสียงจะลดลงตามส่วนต่างๆ เช่น ท่อตรง ท่อหักงอ(Bends) ท่อแยก(Branches) และที่ปลายท่อ(Duct Terminations) นอกจากนี้ยังมีเสียงที่มาจากแหล่งอื่นๆ(Secondary Source)ของระบบ ได้แก่เสียงจากชิ้นส่วนต่างๆในระบบท่อที่เกิดจากการเสียดสีของลม และเสียงที่มาจากอุปกรณ์ที่ปลายท่อ ที่เกิดจากการเปลี่ยนรูปพลังงานของลม



รูปที่ 2.6 กราฟค่าวิกฤติของเสียงรบกวน(NC)

2.5.8 การคำนวณระดับเสียงในห้อง

เสียงที่ได้ยินในทุกๆจุดในห้อง พลังงาน หรือระดับความดัน จะมี 2 ส่วน คือ

1. เสียงที่เกิดโดยตรง
2. เสียงที่เกิดจากการสะท้อน

ทั้ง 2 ส่วนนี้สามารถคำนวณหาระดับความดันของเสียง(Sound Pressure Level) ได้จาก

$$\text{Sound Pressure Level} = \text{Sound Power Level} + 10\log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

เมื่อ Q = ตัวประกอบแสดงทิศทาง (Directivity Factor of Source)

r = ระยะทางระหว่างผู้ฟังถึงแหล่งกำเนิดเสียง, เมตร

R = ค่าคงที่ของห้อง(Room Constant = $S\alpha/(1-\alpha)$)

S = พื้นที่ผิวทั้งหมดของห้อง, ตารางเมตร

α = ค่าสัมประสิทธิการดูดซับเสียงเฉลี่ย($\Sigma(S_i\alpha_i)/S$)

S_i = พื้นที่ผิวของผนังที่มีค่า α_i แต่ละชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ระดับเสียงที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ปล่อยออกมาเป็นระยะๆ (Intermittent Source) สามารถเทียบระดับเสียงเป็นระดับเสียงเทียบเท่าของการทอดยาวของเสียง(Equivalent Level of Sustained,Leq)

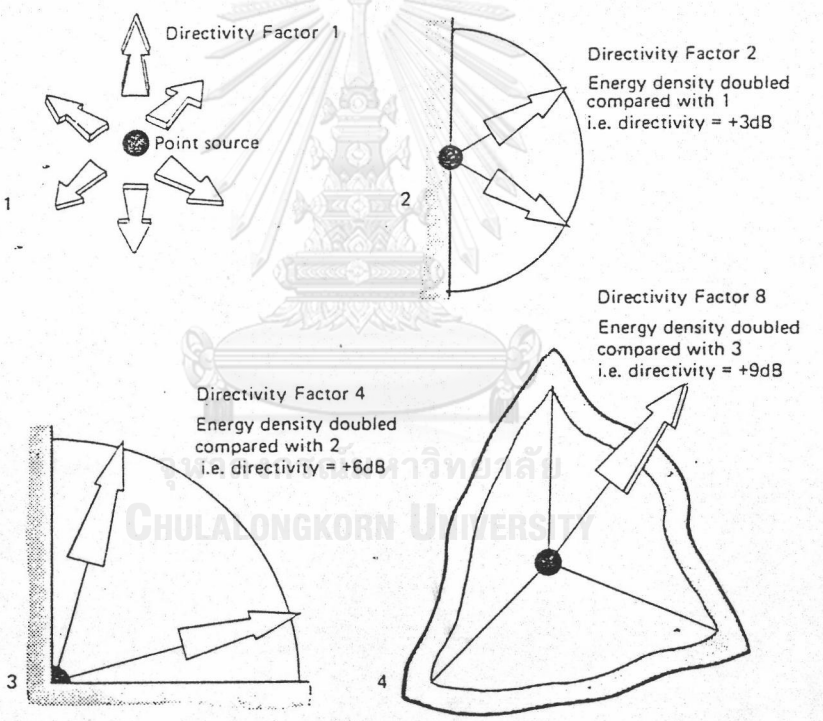
$$Leq = 10\log(10^{-2} \sum fi\,10^{Li/10})$$

เมื่อ fi = อัตราส่วนของช่วงเวลาที่เกิดเสียงต่อเวลาทั้งหมด ti/T

ti = ช่วงเวลาที่เกิดเสียง (Duration of ith time interval)

T = เวลาทั้งหมด(Total Time)

Li = ระดับเสียงที่ช่วงเวลา (Noise level at the ith)



รูปที่ 2.7 ค่าค่าตัวประกอบทิศทาง(Directivity Factor)