

บทที่ 2

ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างแบบจำลองจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีและความรู้ที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นแนวทาง ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

การคำนวณค่าทางชีวกลศาสตร์แบบสถิต

การคำนวณแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อต่างๆ ของแบบจำลอง ในกรณีที่มีแรงที่ไม่ได้อยู่บนระนาบเดียวกันมากระทำจำเป็นต้องคำนวณค่าเป็น 3 มิติ จากผลนี้ทำให้เกิดสมการสมดุลอิสระต่อกัน 6 สมการคือ (Wilson, 1990)

$$\begin{array}{lll} \sum F_x = 0 & \sum F_y = 0 & \sum F_z = 0 \\ \sum M_x = 0 & \sum M_y = 0 & \sum M_z = 0 \end{array}$$

จากสมการสมดุลนี้จะได้

$$\begin{array}{l} R_{jx} = R_{(j-1)x} + f_{jx} \\ R_{jy} = R_{(j-1)y} + f_{jy} \\ R_{jz} = R_{(j-1)z} + f_{jz} + m_j g \\ M_j = M_{(j-1)} + (r_{cmj} \times m_j g) + (r_j \times R_{(j-1)}) \end{array}$$

โดยที่

R_{jx} R_{jy} R_{jz} เป็นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อข้อต่อ j ในแนวแกน x y และ z

f_{jx} f_{jy} f_{jz} เป็นแรงภายนอกที่กระทำต่อข้อต่อ j ในแนวแกน x y และ z

$R_{(j-1)x}$ $R_{(j-1)y}$ $R_{(j-1)z}$ เป็นแรงลัพธ์ที่กระทำต่อข้อต่อติดกัน $j-1$ ในแนวแกน x y และ z

m_j เป็นมวลของชิ้นส่วน j

g เป็นค่าความเร่งอันเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก (9.81 m/s^2 , ทิศทางลง)

M_j เป็นเวกเตอร์ของโมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อ j ในแนวแกน x y และ z

$M_{(j-1)}$ เป็นเวกเตอร์ของโมเมนต์ที่กระทำต่อข้อต่อติดกัน $j-1$ ในแนวแกน x y และ z

r_{cmj} เป็นเวกเตอร์แสดงระยะทางจากข้อต่อ j ถึงจุดศูนย์กลางมวล

$R_{(j-1)}$ เป็นเวกเตอร์ของแรงที่กระทำต่อข้อต่อติดกัน $j-1$ ในแนวแกน x y และ z
 $= (R_{(j-1)x} \cdot R_{(j-1)y} \cdot R_{(j-1)z})$

r_j เป็นเวกเตอร์แสดงระยะทางจากข้อต่อ j ถึงข้อต่อติดกัน

เกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ของภาระงานที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง L5/S1

เกณฑ์นี้ใช้เป็นเงื่อนไขในแบบจำลอง เพื่อเป็นแนวทางช่วยในการวิเคราะห์ ได้มีนักวิจัยในอดีตหลายท่านทำการศึกษาและกำหนดไว้เป็นเกณฑ์เบื้องต้น ดังนี้

การคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังบริเวณสะโพกนั้น พบว่ามีกล้ามเนื้อและแรงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้แก่

- กล้ามเนื้อ Erector spinae ทำหน้าที่พยุงลำตัวขณะยกของซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดย Electromyography (EMG) (Schultz et al., 1982) กล้ามเนื้อนี้อยู่ห่างจาก L5/S1 ประมาณ 5 เซนติเมตร (Thieme, 1950; Bartelink, 1957; Perey, 1957) ในขณะที่นักวิจัยบางท่านทำการประมาณว่ากล้ามเนื้อนี้อยู่ห่างจาก L5/S1 ประมาณ 6 เซนติเมตร (Troup & Chapman, 1969)

- กล้ามเนื้อ External และ Internal oblique ซึ่ง Ekholm, Arborelius and Nemeth (1982) ตรวจสอบโดยใช้ EMG พบว่าขณะทำการยกของ กล้ามเนื้อนี้ทำงานในระดับต่ำมาก

สำหรับค่า P_a ในการยกท่าหลังอ-เข้าตรงนั้น มีค่าเท่ากับ 100 mm.Hg. ส่วนการยกในท่าหลังตรง-เข้าตรงนั้น P_a มีค่าเท่ากับ 40 mm.Hg. ในขณะที่การยืนตรงจะไม่ทำให้เกิดความดันในช่องท้อง (Roozbazar, 1975) อย่างไรก็ตาม Fisher (1967) ได้เสนอการคำนวณหา P_a ในรูปความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่กระทำต่อสะโพก (M_H) มุมของสะโพกและต้นขาเมื่อเทียบกับแนวตั้ง (Q'_H , Q'_T) ดังนี้

$$P_a = 10^{-4} \cdot (43 - 0.36(Q'_H + Q'_T)) \cdot (MH)^{1.8}$$

ส่วนพื้นที่หน้าตัดของช่องท้องนั้น นักวิจัยหลายท่านได้กำหนดค่าที่ต่างกันไปอาทิ Morris, Lucas, and Bressler (1961) กล่าวว่าพื้นที่หน้าตัดช่องท้องนั้นมีค่าประมาณ 465 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ Eie & When (1962) ประมาณพื้นที่หน้าตัดช่องท้องโดยเฉลี่ย 483 ตารางเซนติเมตร

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักตัวที่อยู่เหนือกระดูกสันหลังส่วนที่จะพิจารณา ซึ่ง Ruff (1950) ได้ประมาณน้ำหนักร่างกายส่วนที่เหนือกระดูกสันหลังส่วน L2, L3, L4 เท่ากับร้อยละ 55, 57 และ 59 ตามลำดับ

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักที่ทำการยก

Chaffin and Andersson (1984) ได้อ้างถึงการคำนวณชีวกลศาสตร์ในงานยกของในภาวะสถิตระนาบหน้า-หลัง (Sagittal-plane) ของ Morris, Lucas, and Bresler (1961) ซึ่งได้มีการคำนวณแรงกดที่กระทำต่อหมอนรองกระดูกสันหลังและโมเมนต์ที่เกิดระหว่าง L5 กับ S1 (L5/S1) จากการยกของ จากการสมดุลโมเมนต์ ณ จุด L5/S1

$$\sum M_{L5/S1} = 0 \quad (1)$$

$$b(mg_{bw}) + h(mg_{load}) - D(F_A) - E(F_M) = 0 \quad (2)$$

$$F_M = \{ b(mg_{bw}) + h(mg_{load}) - D(F_A) \} / E \quad (3)$$

: โดยที่ F_M เป็นแรงของกล้ามเนื้อ Erector spinae ที่ทำหน้าที่พยุงลำตัวขณะยกของ

: b และ h เป็นระยะทางในแนวราบจากสะโพกถึงจุดศูนย์กลางของลำตัว และจุดศูนย์กลางของภาระงาน

: E เป็นระยะทางที่กล้ามเนื้อ Erector spinae ออกแรงกระทำต่อ L5/S1

: D เป็นระยะทางจากจุดศูนย์กลางของแรงดันช่องท้องมายัง L5/S1 ประมาณ 11 เซนติเมตร

: F_A เป็นแรงดันภายในช่องท้องคำนวณจาก $P_a \cdot A$

: mg_{load} เท่ากับน้ำหนักของภาระงานที่ถือในมือ

: mg_{bw} เท่ากับน้ำหนักของร่างกายส่วนที่อยู่เหนือจาก L5/S1

และจากสมดุล

$$\sum F_{แรงกด} = 0 \quad (4)$$

$$\sin\alpha mg_{bw} + \sin\alpha mg_{load} - F_A + F_M + F_C = 0 \quad (5)$$

จากสมการ (3) และ (5) สามารถคำนวณหา F_C ได้

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษา แรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังก็คือ การศึกษาจากศพ โดยการนำกระดูกสันหลังของผู้ตาย ซึ่งเก็บรักษาภายใต้ความเย็น 4 องศาเซลเซียส และได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่าไม่มีปัญหาการแตกหักหรือรอยชำรุดมาก่อน กระดูกสันหลังที่ได้มานี้

จะนำไปทดสอบความสามารถสูงสุดในการรับแรงกดนั้น โดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั่งกระดูกเกิดการเสียรูป ทั้งนี้ในขณะที่ทดลองจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับภายในร่างกายมนุษย์ (Brickmann, Biggemann, and Hilweg, 1989) ค่าภาระงานสุดท้ายที่อ่านได้นี้จะเป็นค่า Compressive Strength ของกระดูกสันหลัง

ซึ่งการศึกษาค่า Compressive Strength จากศพนี้ Wall et al. (1970) กล่าวไว้ว่าควรคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

1. ข้อมูลส่วนตัวของศพ เช่น เพศ อายุ ความสูง สาเหตุของการเสียชีวิต ระยะเวลาที่เสียชีวิตมาแล้ว

2. ข้อมูลของกระดูก เช่น ด้านซ้ายหรือขวา ความหนาแน่นของกระดูก

3. อุณหภูมิที่ใช้จัดเก็บรักษากระดูก

4. กรรมวิธีในการตัดชิ้นส่วนกระดูกเพื่อนำมาศึกษา

5. รูปร่างลักษณะของชิ้นส่วนกระดูกที่ตัดมา

6. สภาพแวดล้อมขณะทำการทดลอง เช่น ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ

จากภาระงานที่เพิ่มให้กับชิ้นส่วนกระดูกในขณะที่ทำการทดลองหาค่า Compressive Strength สามารถนำมาหาความสัมพันธ์กับลักษณะจำเพาะของกระดูกสันหลัง เช่น พื้นที่หน้าตัดของกระดูก ความหนาแน่นของกระดูก และส่วนประกอบของ Bone mineral ในกระดูกสันหลัง

Genaidy et al. (1993)กล่าวถึงแนวทางสองแนวทางในการวัดลักษณะจำเพาะของกระดูกสันหลังคือ The DPA method (Dual Photon Absorptionmetry) และ QCT (Quatitive Computed Tomography)

DPA method เป็นการวัดความหนาแน่นของกระดูก ซึ่งวัดออกมาในรูปของ Bone mineral content มีหน่วยเป็น กรัมต่อเซนติเมตร ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กับค่า Compressive Strength) ด้วยค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 (Hansson, Roos, and Nachemson, 1980)

QCT เป็นเครื่องมือที่สามารถวัดขนาดบริเวณข้อต่อของกระดูกสันหลัง (End-plate area) และความหนาแน่นของกระดูกสันหลังโดยใช้หลักการของ X-Ray

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของค่า Compressive Stength ในรูปของลักษณะจำเพาะของบุคคล จึงสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้หา Compressive Strength ของบุคคลที่ยังมีชีวิตอยู่ได้ โดยผ่านลักษณะข้อมูลของกระดูกสันหลังของบุคคลนั้นๆ ที่ได้จาก DPA หรือ QCT ซึ่ง Erikson, Isberg, and Lindgren (1989) หาค่าสหสัมพันธ์ของ Compressive Strength กับข้อมูลลักษณะ

จำเพาะของกระดูกที่ได้จากวิธี DPA และวิธี QCT ได้ค่าสหสัมพันธ์ 0.80 และ 0.74 ตามลำดับ โดยมีค่าพยากรณ์ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SSE) น้อยกว่า 1 KN. ซึ่งกล่าวได้ว่าทั้ง DPA และ QCT เป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องแม่นยำยอมรับได้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับลักษณะจำเพาะของบุคคลนั้น ได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการทดลองและสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ขึ้นเป็นฟังก์ชันของ อายุ เพศ น้ำหนักร่างกาย และค่าจำเพาะของกระดูกสันหลังแต่ละชิ้น (Spinal Component; SC)

Sonoda (1962) ทดลองหาค่า Compressive Strength (CS) ของกระดูกสันหลังจากผู้ที่ไม่เสียชีวิตใหม่ๆ ช่วงอายุระหว่าง 22 ถึง 76 ปี โดยทำการเพิ่มภาระงานให้แก่ชิ้นส่วนกระดูกสันหลังในแนวตั้งจากจนกระทั่งชิ้นส่วนกระดูกเกิดการเสียรูป จากผลการทดลองทำให้ประมาณความสัมพันธ์ได้ว่า $CS = 6421.3 + (374.3 * SC)$: L5 - S1 มีค่า SC = 48

Kazarian and Graves (1977) รายงานถึงงานวิจัยของ Messerer (1880) ที่ได้ทำการทดลองวัดค่า CS ในกระดูกสันหลังส่วน C3 - C5 รวมทั้งอ้างถึงงานวิจัยของ Guzulov et al. (1966) ซึ่งทำการวัดค่า CS ของกระดูกสันหลัง 530 ชิ้น ที่ได้จากผู้เสียชีวิตเพศชายช่วงอายุ 19 ถึง 40 ปี โดยให้ภาระงานแก่ชิ้นส่วนกระดูกด้วยอัตรา 10 มิลลิเมตรต่อนาที จากการทดลองของ Messerer พบว่า $CS = 1908.3 + (299.7 * SC)$ ในขณะที่ Guzulov หาค่าความสัมพันธ์ของ $CS = 6218.1 + (783.0 * SC)$

Hutton et al. (1979) ทำการวัด CS ในกระดูกสันหลังจากผู้เสียชีวิตที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง โดยการใช้ภาระงานกระทำต่อชิ้นส่วนกระดูกสันหลังที่นำมาทดลองในสองอัตราคือ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และ 6 มิลลิเมตรต่อนาที พบความสัมพันธ์ $CS = 8567.4 - (72.0 * อายุ) - (3276.9 * เพศ) + (374.0 * SC)$: เพศชาย = 1 ; เพศหญิง = 2

Hutton and Adams (1982) ศึกษา CS ในกระดูกจากผู้เสียชีวิต จำนวน 33 ชิ้นตัวอย่าง ทั้งจากกระดูกที่ได้จากผู้เสียชีวิตใหม่ๆ และจากกระดูกที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง โดยการให้ภาระงานในการทดลอง 3 KN. ต่อวินาที พบความสัมพันธ์ $CS = 18512 - (29.3 * อายุ) - (3215.5 * เพศ) + (539.9 * SC) + (97.0 * น้ำหนักร่างกาย)$

Adams and Hutton (1982) ทำการทดลองกับกระดูกที่ได้จากผู้เสียชีวิตที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง 61 ตัวอย่าง โดยให้ภาระงาน 3 KN. ต่อวินาที เช่นกัน และค่าความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลอง $CS = -7308.4 - (69.8 * อายุ) - (140.7 * เพศ) + (280.2 * SC) + (42.4 * น้ำหนักร่างกาย)$

Hansson et al. (1987) ทดลองศึกษาในชิ้นส่วนกระดูกสันหลังที่ได้จากผู้เสียชีวิตใหม่ ๆ เพศชาย จำนวน 17 ชิ้นตัวอย่าง โดยทำการวัด CS และวัดลักษณะจำเพาะของกระดูกโดยใช้เทคนิค DPA พบความสัมพันธ์ CS = $-13557.0 - (63.1 \cdot \text{อายุ}) - (454.4 \cdot \text{เพศ}) + (404.2 \cdot \text{SC}) + (54.5 \cdot \text{น้ำหนักร่างกาย})$

Brinkmann et al. (1988) ทำการประมาณความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์จากชิ้นส่วนกระดูกสันหลังที่ได้จากผู้เสียชีวิตใหม่ ๆ จำนวน 35 ชิ้นตัวอย่าง ทั้งจากเพศชายและเพศหญิง โดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกด้วยอัตรา 1 N. ต่อวินาที ประมาณค่าความสัมพันธ์ CS = $-2894.9 - (64.8 \cdot \text{อายุ}) - (1018.0 \cdot \text{เพศ}) + (284.7 \cdot \text{SC})$

Biggemann et al. (1988) ทำการวัดค่า End-plate area และความหนาแน่นของกระดูกสันหลังจาก QCT พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง CS กับผลคูณของค่า End-plate area กับความหนาแน่นของกระดูก มีลักษณะเป็นเส้นตรง พร้อมกันนี้ได้ประมาณค่า CS = $5719.6 - (53.1 \cdot \text{อายุ}) - 1722.1 \cdot \text{เพศ} + (312.1 \cdot \text{SC})$

Jager and Luttmann (1992) ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้ข้อมูลของ Wyss & Ulrich (1954); Perey (1957); Evans & Lissner (1959); Eie (1966); Farfan (1973); Hutton et al. (1979); Hansson et al. (1980); Hutton and Adams (1982); Brinckmann and Horst (1983); Brinckmann et al. (1989) รวมเป็นข้อมูลจากผู้เสียชีวิตเพศชายทั้งหมด 174 ข้อมูล และเพศหญิง 132 ข้อมูล ผลจากงานวิจัยชี้ให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลถึง CS สูงที่สุดคือ อายุ รองลงมาคือ เพศ โดยที่ CS จะลดลง 1 KN. ต่ออายุที่เพิ่มขึ้น 10 ปี ในเพศชาย และลดลง 0.6 KN. ต่ออายุที่เพิ่มขึ้น 10 ปี ในเพศหญิง และได้เสนอความสัมพันธ์ในรูปของ CS = $10.53 - 0.975(\text{อายุ}/10)$ สำหรับเพศชาย และ CS = $7.03 - 0.591(\text{อายุ}/10)$ สำหรับเพศหญิง นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงผลของการยกในภาระงานแบบพลวัต (Dynamics) และสภาพการยกที่ไม่สมมาตร เช่นมีการเอียงตัว หรือเอี้ยวตัวขณะทำการยก จะส่งผลให้เกิดภาระงานที่มากกระทำต่อกระดูกสันหลังมากขึ้นกว่าที่คาดการณ์ไว้

Genaidy et al. (1993) รวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยของ Hutton and Adams (1982); Adams and Hutton (1982); Hansson et al. (1987); Brinckmann et al. (1988); Brinckmann et al. (1989) ทำการปรับปรุงความสัมพันธ์ของ CS ให้เป็นฟังก์ชันของ เพศ ค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ของประชากร และ ช่วงอายุ โดยกำหนดช่วงอายุ 20-29, 30-39, 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าเป็นตัวเลขเชิงคุณภาพ โดยมีค่าเท่ากับ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ พร้อมทั้งเสนอความสัมพันธ์ CS = $7222.41 - (1047.71 \cdot \text{ช่วงอายุ}) - (1279.18 \cdot \text{เพศ}) + (56.73 \cdot \text{ค่าเปอร์เซ็นต์ไทม์ของประชากร})$

จากแนวคิดเรื่องการหา Compressive Strength ข้างต้นซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้เมื่อมีการกระทำมากกระทำ ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการป้องกันอันตรายอันจะเกิดกับกระดูกสันหลังจากภาระงานที่มากกระทำ จึงมีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่สามารถยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load; MAL) (นักวิจัยบางท่านอาจเรียกชื่อต่างกันไปเช่น Damage Load; DL) ซึ่งจากการศึกษาของ Eie (1966) พบว่าค่า MAL จะอยู่ในช่วงร้อยละ 33 ถึง ร้อยละ 93 ของค่า Compressive Strength โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า Compressive Strength ในขณะที่ Yoganandan et al. (1989) กล่าวว่าค่า MAL ของคนปกติมีค่าประมาณร้อยละ 83 ของ Compressive Strength

Genaidy et al. (1993) กำหนดค่า MAL ในรูปของความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง $MAL = -805.18 + (0.74554 * CS)$ เมื่อทำการตรวจสอบพบว่าค่า MAL ที่ได้อยู่ประมาณร้อยละ 64 ของ Compressive Strength ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Eie

สัดส่วนของร่างกาย

การวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหวและจลนพลศาสตร์ (Kinematic and Kinetic) จำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากร่างกายคน เช่น มวล จุดศูนย์กลางมวล โมเมนต์ความเฉื่อย เป็นต้น ค่าบางส่วนได้จากการวัดโดยตรงจากศพบางส่วนมาจากการคำนวณจากปริมาตรเทียบกับตารางความหนาแน่น (Winter, 1979) แล้วนำมาสร้างเป็นชิ้นส่วนและประกอบกันเป็นแบบจำลองคนสามมิติซึ่งจะใช้เป็นแบบจำลองมาตรฐาน แล้วเปลี่ยนขนาดและข้อมูลอื่นไปตามกลุ่มประชากรที่ต้องการศึกษานอกจากนั้นยังต้องพิจารณาถึงพิสัยของการเคลื่อนไหว (range of motion) เนื่องจากการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆ ของร่างกายมีขีดจำกัด สามารถนำไปใช้เป็นเงื่อนไขเบื้องต้น เพื่อความสะดวกและถูกต้องของท่าทางในแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการสร้างและทดสอบแบบจำลอง แบ่งออกเป็น

1. ข้อมูลชิ้นส่วนของร่างกายคน

ส่วนประกอบของแบบจำลองคนมีทั้งหมด 15 ส่วน คือ เท้า 2 ชิ้น ขาส่วนล่าง 2 ชิ้น ขาส่วนบน 2 ชิ้น สะโพก 1 ชิ้น ท้อง 1 ชิ้น อก 1 ชิ้น หัวและคอ 1 ชิ้น แขนส่วนบน 2 ชิ้น แขนส่วนล่าง 2 ชิ้น มือ 2 ชิ้น

แต่ละชิ้นส่วนจะมีข้อมูลที่น่ามาใช้คำนวณในแบบจำลองคือ ความยาวของแต่ละชิ้นส่วนเทียบกับความสูงขณะยืน ระยะจุดศูนย์กลางมวลอ้างอิงจากข้อต่อของแต่ละชิ้นส่วน มวลของชิ้นส่วนเทียบกับน้ำหนักตัวทั้งหมด

ข้อมูลสัดส่วนของร่างกายของกลุ่มประชากรคนไทยเพศชายที่น่ามาใช้ในแบบจำลอง ได้มาจากการวิจัยของ นริศ เจริญพร (2535) ส่วนเพศหญิงได้จาก Pheasant (1986) อ้างถึง Reynolds (1978) ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 มวลของส่วนต่างๆ ของร่างกาย

อ้างอิงจาก นริศ เจริญพร (2535) และ Pheasant (1986)

ส่วนของร่างกาย	มวลของชิ้นส่วนเมื่อเทียบกับมวลของร่างกาย (%)	
	ชาย	หญิง
มือขวา	0.65	0.6
มือซ้าย	0.61	0.6
แขนขวาส่วนล่าง	1.67	1.7
แขนซ้ายส่วนล่าง	1.58	1.7
แขนขวาส่วนบน	3.37	2.8
แขนซ้ายส่วนบน	3.24	2.8
ลำตัว	48.72	50.0
ขาขวาส่วนบน	10.23	10.0
ขาซ้ายส่วนบน	10.06	10.0
ขาขวาส่วนล่าง	5.06	4.3
ขาซ้ายส่วนล่าง	4.88	4.3
เท้าขวา	1.56	1.4
เท้าซ้าย	1.50	1.4
ศีรษะและคอ	7.88	8.4

ตารางที่ 2.2 ความยาวของส่วนต่างๆ ของร่างกาย

อ้างอิงจาก นริศ เจริญพร (2535) และ Pheseant (1986)

(ความสูงเฉลี่ย ชาย = 165.2 ซม.)

ส่วนของ ร่างกาย	ความยาวของร่างกายส่วนต่างๆ	
	ชาย (ซม.)	หญิง(%)
มือขวา	18.5	10.8
มือซ้าย	18.5	10.8
แขนขวาส่วนล่าง	26.7	14.9
แขนซ้ายส่วนล่าง	26.7	14.9
แขนขวาส่วนบน	32.1	17.2
แขนซ้ายส่วนบน	32.0	17.2
ลำตัว	59.7	34.0
ขาขวาส่วนบน	33.0	24.2
ขาซ้ายส่วนบน	33.0	24.2
ขาขวาส่วนล่าง	37.6	23.0
ขาซ้ายส่วนล่าง	37.6	23.0
เท้าขวา (วัดจากสันเท้าถึงปลายนิ้ว)	22.8	14.7
เท้าขวา (วัดจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า)	9.4	4.1
เท้าซ้าย (วัดจากสันเท้าถึงปลายนิ้ว)	22.8	14.7
เท้าซ้าย (วัดจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า)	9.4	4.1
ศีรษะและคอ	23.2	14.7



ตารางที่ 2.3 ระยะของจุดศูนย์กลางมวลของส่วนต่างๆ ของร่างกาย
(เทียบกับความยาวของส่วนนั้น โดยวัดจากด้านใน)
อ้างอิงจาก นริศ เจริญพร (2535) และ Pheasant (1986)

ส่วนของร่างกาย	ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลเมื่อเทียบกับความยาวของส่วนนั้น (%)	
	ชาย	หญิง
มือขวา	42.82	40
มือซ้าย	42.77	40
แขนขวาส่วนล่าง	42.22	41
แขนซ้ายส่วนล่าง	42.28	41
แขนขวาส่วนบน	45.83	48
แขนซ้ายส่วนบน	45.62	48
ลำตัว	47.83	46
ขาขวาส่วนบน	44.07	41
ขาซ้ายส่วนบน	44.12	41
ขาขวาส่วนล่าง	42.76	44
ขาซ้ายส่วนล่าง	42.55	44
เท้าขวา (วัดจากสันเท้าถึงปลายนิ้ว)	40.54	47
เท้าขวา (วัดจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า)	61.55	50
เท้าซ้าย (วัดจากสันเท้าถึงปลายนิ้ว)	40.90	47
เท้าซ้าย (วัดจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า)	60.57	50
ศีรษะและคอ	57.09	47

ข้อมูลอื่นที่ Reynolds ได้รวบรวมไว้ มีค่าดังต่อไปนี้

ความยาวเป็นร้อยละเทียบกับความสูง

ชาย	ความกว้างไหล่ = 21.9	หญิง	ความกว้างไหล่ = 21.2
	ความกว้างสะโพก = 9.9		ความกว้างสะโพก = 10.9

ลำตัวส่วนบน = 27.7

ลำตัวส่วนล่าง = 5.7

ระยะจากสันเท้าถึงข้อเท้า = 3.3

ระยะตามแนวตั้งจากไหล่คอ = 4.6

ลำตัวส่วนบน = 28.3

ลำตัวส่วนล่าง = 5.7

ระยะจากสันเท้าถึงข้อเท้า = 3.2

ระยะตามแนวตั้งจากไหล่คอ = 3.6

มวลคิดเป็นร้อยละเทียบกับน้ำหนักตัว

ชาย ลำตัวส่วนบน = 36.6

ลำตัวส่วนล่าง = 13.4

หญิง ลำตัวส่วนบน = 36.6

ลำตัวส่วนล่าง = 13.4

จุดศูนย์กลางมวลของลำตัวคิดเป็นร้อยละเทียบกับความยาวของชิ้นส่วนอ้างอิงจากด้านล่าง มีค่า ดังนี้

ชาย ลำตัวส่วนบน = 63

ลำตัวส่วนล่าง = 0

หญิง ลำตัวส่วนบน = 63

ลำตัวส่วนล่าง = 0

นริศ เจริญพร (2535) ได้สรุปไว้ว่า มวลของส่วนต่างๆ ของร่างกายมีความสัมพันธ์กับมวลและปริมาตรของร่างกาย ความยาวของส่วนต่างๆ ของร่างกาย มีความสัมพันธ์กับความสูง

กิตติ อินทรานนท์และคณะ (2533) อ้างจากตำรา กิจกุตลและไพฑูรย์ เนาวรัตน์-ภาส (2528) ว่าโครงสร้างสำคัญที่สุดของหลังของมนุษย์คือ ลำสันหลัง (vertebral column) ประกอบด้วย 5 ส่วนคือ กระดูกสันหลังส่วนคอ (cervical spine) กระดูกสันหลังส่วนอก (thoracic spine) กระดูกสันหลังส่วนเอว (lumbar spine) กระดูกเชิงกราน (pelvis) และกระดูกก้นกบ (coccyx) โดยมีจุดที่เคลื่อนไหวได้ 3 จุดคือ ระหว่างกระดูกสันหลังส่วนคอกับกระดูกสันหลังส่วนอก ระหว่างกระดูกสันหลังส่วนอกกับกระดูกสันหลังส่วนเอว และระหว่างกระดูกสันหลังส่วนเอวกับกระดูกเชิงกราน ส่วนอื่นๆ นอกเหนือจากนี้เคลื่อนไหวได้น้อยมาก

2. สัดส่วนร่างกายของกลุ่มประชากรอ้างอิง

สัดส่วนและวิธีการวัดสัดส่วนนั้น จะนำมาใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของสัดส่วนแบบจำลอง นอกจากนั้นจะนำไปใช้ตรวจสอบผู้ถูกทดสอบว่าสัมพันธ์กับกลุ่มประชากรอ้างอิงเพียงใด ข้อมูลสัดส่วนร่างกาย กิตติ อินทรานนท์และคณะ (2531) ได้ทำการศึกษาสัดส่วนร่างกายและความสามารถสูงสุดในการทำงานของกลุ่มประชากรอาชีพเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ของประเทศไทย ได้ค่าสัดส่วนร่างกายดังตารางที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนร่างกายของกลุ่มประชากรอ้างอิงเพศชาย

(ช่วงอายุ 17-55 ปี, จำนวน 250 คน) (กิตติ อินทรานนท์และคณะ, 2531)

สัดส่วนร่างกาย	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ไคสกีที่	
			5	95
1.น้ำหนัก(กก.)	53.70	7.00	42.17	65.22
2.ความสูง	160.70	5.69	151.18	169.84
3.ความสูงของปุ่มไหล่	132.42	5.64	123.15	141.69
4.ระยะระหว่างโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง	40.87	3.03	35.88	45.87
5.เส้นรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน27.13		3.50	21.36	32.89
6.ระยะระหว่างกันถึงข้อพับด้านในของหัวเข่า	43.48	4.63	35.86	51.11
7.ระยะหัวเข่าถึงกัน	52.72	2.81	48.10	57.34
8.เส้นรอบน่อง	33.73	4.50	27.06	40.40
9.ความสูงคอ	136.51	5.42	127.60	145.43
10.เส้นรอบอกที่ระดับราวมม	82.42	7.97	59.31	95.52
11.ระยะศอกถึงกลางฝ่ามือขณะกำมือ	33.18	1.83	30.17	36.20
12.ระยะระหว่างข้อศอกทั้งสองข้าง	41.25	3.26	35.88	46.61
13.ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ	44.79	2.64	40.45	49.14
14.ความกว้างของหน้า(BIZYGOMATIC)	11.75	0.89	10.29	13.21
15.ความยาวของหน้า(SELLION-MENTON)	18.65	1.20	15.76	20.63
16.ความกว้างของเท้า	9.95	0.95	8.39	11.52
17.ความยาวของเท้า	24.23	1.59	21.61	26.85
18.เส้นรอบโคนแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน	25.85	2.09	22.41	29.28
19.ระยะเหยียดแขนขณะลำตัวตั้งตรง	71.68	5.66	62.37	80.99
20.ระยะเหยียดแขนขณะที่เอียงไหล่ขวาไปด้านหน้า	81.41	4.71	73.66	83.16
21.ความกว้างของมือ	8.12	0.16	7.12	9.12
22.ความยาวของมือ	17.57	1.03	15.87	19.27
23.เส้นรอบศีรษะ	53.96	3.14	48.79	59.12
24.ความยาวศีรษะ	18.16	0.62	17.14	19.18
25.เส้นรอบสะโพก	83.48	5.10	75.09	91.87
26.ความกว้างของหลังวัดระหว่างหัวนมทั้งสอง	64.91	5.01	56.65	73.15
27.ความสูงขณะคุกเข่า	119.82	4.54	112.35	127.29
28.เส้นรอบคอ (BASE)	33.41	2.58	29.18	37.65
29.ระยะระหว่างแขนทั้งสองเมื่อเหยียดแขนขึ้นเหนือศีรษะ34.89		2.55	30.70	39.07
30.ความสูงในการเหยียดแขนขึ้นเหนือศีรษะ	194.50	7.64	181.93	207.07
31.ความสูงใต้รักอ่อนทำนั่ง	40.10	2.15	36.56	43.64
32.เส้นรอบไหล่	102.15	6.51	91.45	112.85

ตารางที่ 2.4 สัดส่วนร่างกายของกลุ่มประชากรอ้างอิงเพศชาย (ต่อ)

(ช่วงอายุ 17-55 ปี, จำนวน 250 คน) (กิตติ อินทรานนท์และคณะ, 2531)

สัดส่วนร่างกาย	ค่าเฉลี่ย (ชม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ไคล์ที่	
			5	95
33.ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่	34.34	1.65	31.63	37.05
34.ระยะต้นคอถึงปุ่มหัวไหล่	14.04	1.66	11.30	16.77
35.ความสูงนั่ง	83.34	3.44	77.68	88.99
36.ความกว้างโคนขาขณะนั่ง	29.85	2.59	25.59	34.12
37.เส้นรอบโคนขา	47.06	4.47	39.70	54.42
38.เส้นรอบตัวตามแนวตั้งในขณะยืน	151.09	7.30	139.09	163.09
39.เส้นรอบเอว	69.72	7.34	57.65	81.78
40.ความยาวของเอวด้านหลัง	40.18	2.87	35.47	44.90
41.ความยาวของเอวด้านหน้า	33.94	2.70	29.49	38.39
42.ความสูงเอว	99.10	5.36	90.29	107.91

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนร่างกายของกลุ่มประชากรเพศหญิง

(ช่วงอายุ 17-55 ปี, จำนวน 250 คน) (กิตติ อินทรานนท์และคณะ, 2531)

สัดส่วนร่างกาย	ค่าเฉลี่ย (ชม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ไคล์ที่	
			5	95
1.น้ำหนัก(กก.)	53.06	8.18	39.61	66.52
2.ความสูง	151.20	4.82	143.29	159.70
3.ความสูงของปุ่มไหล่	124.68	4.88	116.65	132.70
4.ระยะระหว่างโคนแขนของแขนส่วนบนทั้งสองข้าง	37.14	2.55	32.94	41.33
5.เส้นรอบกล้ามเนื้อกลางแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน	26.37	3.51	20.59	32.15
6.ระยะระหว่างกันถึงข้อพับด้านในของหัวเข่า	42.86	3.39	37.28	48.44
7.ระยะหัวเข่าถึงกัน	51.58	2.78	47.01	56.15
8.เส้นรอบน่อง	33.56	3.01	28.52	38.51
9.ความสูงคอ	128.21	5.90	118.51	137.92
10.เส้นรอบอกที่ระดับราวนม	84.64	10.00	68.18	101.09
11.ระยะข้อศอกถึงกลางฝ่ามือขณะกำมือ	31.19	2.16	27.64	34.74

ตารางที่ 2.5 สัดส่วนร่างกายของกลุ่มประชากรเพศหญิง
(ช่วงอายุ 17-55 ปี, จำนวน 250 คน) (กิตติ อินทรานนท์และคณะ, 2531)

สัดส่วนร่างกาย	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	เปอร์เซ็นต์ไคล์ที่	
			5	95
12.ระยะระหว่างข้อศอกทั้งสองข้าง	39.47	4.12	32.69	46.25
13.ระยะข้อศอกถึงปลายนิ้วมือ	41.34	2.14	37.81	44.87
14.ความกว้างของหน้า(BIZYGOMATIC)	11.20	0.68	10.08	12.31
15.ความยาวของหน้า(SELLION-MENTON)	17.42	1.17	15.49	19.35
16.ความกว้างของเท้า	8.37	0.77	7.46	10.00
17.ความยาวของเท้า	22.23	2.05	18.95	25.68
18.เส้นรอบโคนแขนของแขนส่วนบนขณะงอแขน	24.21	2.43	20.22	28.20
19.ระยะเหยียดแขนขณะลำตัวตั้งตรง	67.93	5.38	59.07	76.78
20.ระยะเหยียดแขนขณะที่เอียงไหล่ขวาไปด้านหน้า	75.69	5.01	67.46	83.93
21.ความกว้างของมือ	7.35	0.51	6.51	8.18
22.ความยาวของมือ	16.96	3.29	11.55	22.37
23.เส้นรอบศีรษะ	52.91	2.26	49.19	56.62
24.ความยาวศีรษะ	17.03	0.68	16.04	18.02
25.เส้นรอบสะโพก	92.40	9.19	77.28	107.51
26.ความกว้างของหลังวัดระหว่างหัวนมทั้งสอง	68.75	8.11	55.40	82.09
27.ความสูงขณะคุกเข่า	113.00	4.88	104.97	121.03
28.เส้นรอบคอ (BASE)	31.00	2.77	26.44	35.56
29.ระยะระหว่างแขนทั้งสองเมื่อเหยียดแขนขึ้นเหนือศีรษะ	31.73	2.26	28.01	35.45
30.ความสูงในการเหยียดแขนขึ้นเหนือศีรษะ	183.12	6.12	173.04	193.19
31.ความสูงได้ร่าอ่อนทำนั่ง	37.99	2.00	34.70	41.27
32.เส้นรอบไหล่	96.18	8.08	82.89	109.48
33.ระยะข้อศอกถึงปุ่มหัวไหล่	31.89	1.55	29.34	34.45
34.ระยะต้นคอถึงปุ่มหัวไหล่	11.88	1.50	9.42	14.33
35.ความสูงนั่ง	78.77	3.16	73.57	83.96
36.ความกว้างโคนขาขณะนั่ง	31.59	2.57	27.36	35.83
37.เส้นรอบโคนขาบน	50.71	6.38	40.22	61.20
38.เส้นรอบตัวตามแนวตั้งในขณะยืน	146.45	10.60	129.0	163.88
39.เส้นรอบเอว	73.22	10.37	56.15	90.28
40.ความยาวของเอวด้านหลัง	32.19	4.45	30.88	45.51
41.ความยาวของเอวด้านหน้า	32.90	2.77	28.35	37.45
42.ความสูงเอว	92.70	4.89	84.65	100.74

การประเมินภาระงาน OWAS (Ovako Working Posture Analysis System)

Karhu, Kansii, and Kuorinka (1977) ได้พัฒนาการประเมินภาระงาน OWAS เพื่อศึกษาท่าทางการทำงาน โดยการพิจารณาให้คะแนนจากส่วนของร่างกาย 3 ส่วนคือ แขน หลัง ขา และภาระงาน มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การให้คะแนนจากท่าทางของร่างกายและภาระงานของ OWAS

(Karhu, Kansii, and Kuorinka, 1977)

ส่วนของร่างกาย	คะแนน
หลัง : ตรง	1
โค้ง	2
ตรงและบิด	3
โค้งและบิด	4
แขน : 2 ข้างต่ำกว่าไหล่	1
1 ข้างสูงกว่าไหล่	2
2 ข้างสูงกว่าไหล่	3
ขา : ยืน 2 ขา	1
ยืน 1 ขา	2
งอ 2 เข่า	3
งอ 1 เข่า	4
คุกเข่า	5
เดิน เคลื่อนไหว	6
ขาทั้งสองห้อยอยู่	7
ภาระ : <= 10 กก.	1
<= 20 กก.	2
> 20 กก.	3

การบันทึกจะกระทำเป็นช่วงโดยใช้คาบเวลาที่เหมาะสม เช่น 10 วินาที หรือ 15 วินาที เป็นต้น การประเมินภาระงานโดยวิธี OWAS นี้ Kivi and Mattila (1991) ได้ทำโปรแกรม OWASAN และ OWASCO เพื่อช่วยในการประเมินภาระงานให้สะดวกยิ่งขึ้น โดยโปรแกรมนี้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เมื่อกำหนดรหัสท่าทางแล้วโปรแกรมจะประเมินว่างานนั้นอยู่ในระดับใดตามตารางที่ 2.7 โดยแบ่งการปฏิบัติเป็นระดับดังนี้

ตารางที่ 2.7 การแบ่งระดับงานตามเกณฑ์ OWAS โดยใช้คะแนนในตารางที่ 2.6
อ้างอิงจาก Wilson (1990)

หลัง	แขน	ขา						
		1	2	3	4	5	6	7
		ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3	ภาระงาน 1 2 3
1	1	1 1 1	1 1 1	1 1 1	1 1 2	3 3 4	1 1 1	4 4 4
	2	1 1 1	1 1 1	1 1 2	2 2 2	2 4 4	1 1 1	4 4 4
	3	1 1 2	1 1 1	1 1 2	2 3 3	2 3 3	2 2 2	4 4 4
2	1	1 1 1	1 1 2	2 3 3	1 1 2	3 3 4	1 1 1	4 4 4
	2	1 1 1	2 2 3	2 3 4	4 4 4	4 4 4	3 3 3	4 4 4
	3	2 2 3	1 3 3	2 3 3	4 4 4	4 4 4	3 3 4	4 4 4
3	1	1 1 4	1 1 1	4 3 3	4 4 4	4 4 4	1 2 3	4 4 4
	2	2 3 3	1 1 1	3 3 3	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4
	3	2 3 3	1 2 2	3 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4
4	1	1 1 2	1 2 2	2 2 3	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4
	2	3 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4
	3	2 3 4	2 2 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4	4 4 4

ระดับที่ 1 เป็นท่าทางที่ไม่อันตราย ยอมรับได้

ระดับที่ 2 เป็นท่าทางที่มีความเครียดบ้าง ควรตรวจสอบและแก้ไข

ระดับที่ 3 เป็นท่าทางที่มีความเครียดมาก ควรตรวจสอบและแก้ไขโดยเร็ว

ระดับที่ 4 เป็นท่าทางที่อันตราย ควรตรวจสอบและแก้ไขในทันที

การประเมินภาระงาน RULA (Rapid Upper Limb Assessment)

McAtamney and Corlett (1993) ได้พัฒนา RULA ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่าย ๆ ไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษ เพื่อตรวจสอบสถานที่ทำงานที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อส่วนบนของร่างกาย ทั้งนี้ โดยการบันทึกท่าทางของ คอ ลำตัว ท่อนแขน ภาระงานและลักษณะการใช้กล้ามเนื้อ เพื่อการกำหนดระดับในการแก้ไขงานที่เสี่ยงต่อการบาดเจ็บ โดยมียุทธศาสตร์ได้ดังนี้

1. กำหนดคะแนนของแขนและมือจากมุมที่เคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 2.1
2. นำคะแนนในข้อ 1. ไปเปิดตารางเพื่อหาคะแนน A ในตารางที่ 2.8
3. กำหนดคะแนนของหัว ลำตัว และการวางเท้าตามลักษณะที่แสดงในรูปที่ 2.2
4. นำคะแนนในข้อ 2. ไปเปิดตารางเพื่อหาคะแนน B ในตารางที่ 2.9
5. กำหนดคะแนนของภาระงานและการใช้กล้ามเนื้อ โดยตารางที่ 2.10 และตารางที่ 2.11 ตามลำดับ
6. นำคะแนน A รวมกับคะแนนในข้อ 5 เป็นคะแนน C และ นำคะแนน B รวมกับคะแนนในข้อ 5 เป็นคะแนน D
7. นำคะแนน C และ D ไปเปิดหาค่าคะแนนผลลัพธ์ในตาราง C ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.12

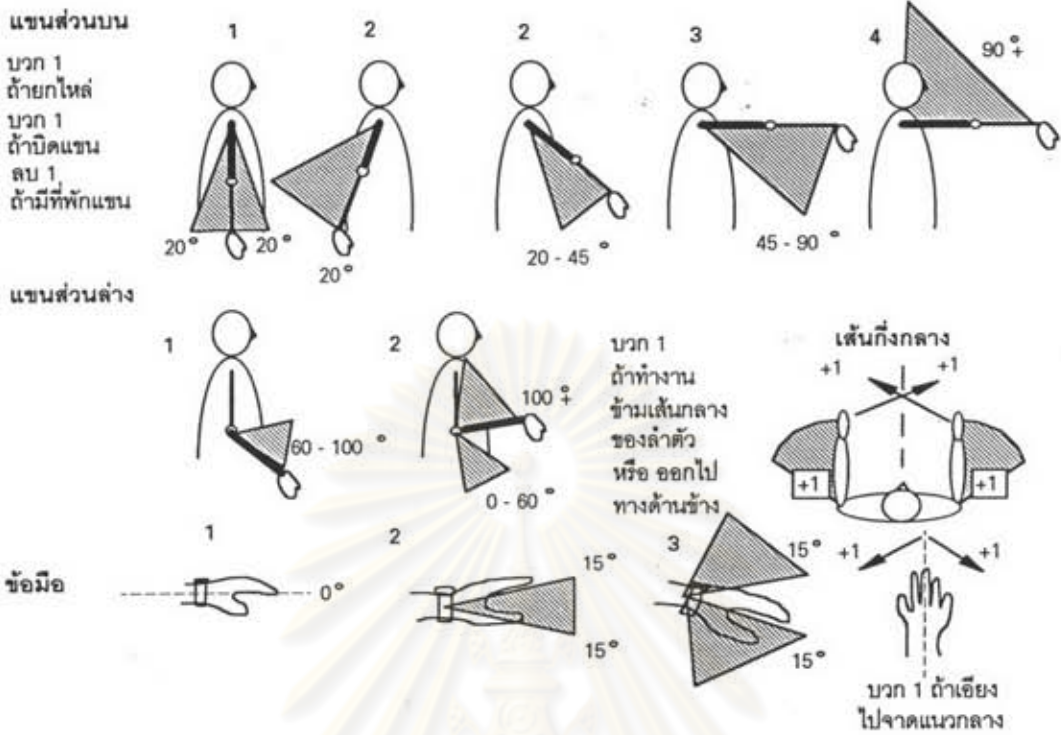
ระดับคะแนนที่ได้จากตาราง C นำมาใช้กำหนดระดับการปฏิบัติได้ 4 ระดับคือ

ระดับที่ 1 (ระดับคะแนนผลลัพธ์ตั้งแต่ 1 ถึง 2) เป็นท่าทางที่ยอมรับได้

ระดับที่ 2 (ระดับคะแนนผลลัพธ์ตั้งแต่ 3 ถึง 4) เป็นท่าทางที่ควรตรวจสอบและอาจต้องมีการแก้ไข

ระดับที่ 3 (ระดับคะแนนผลลัพธ์ตั้งแต่ 5 ถึง 6) เป็นท่าทางที่ควรตรวจสอบและแก้ไข โดยเร็ว

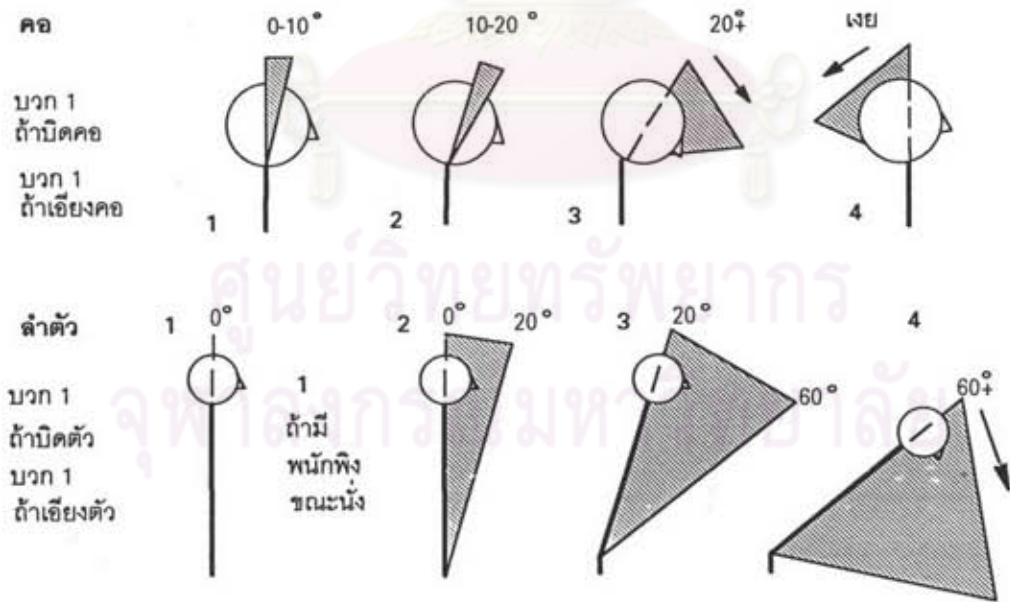
ระดับที่ 4 (ระดับคะแนนผลลัพธ์ตั้งแต่ 7ขึ้นไป) เป็นท่าทางที่ควรตรวจสอบและแก้ไขในทันที



การบิดข้อมือ 1 ถ้ามืดเล็กน้อย 2 ถ้ามืดเกือบสุด

รูปที่ 2.1 ระดับคะแนนจากท่าทางของส่วนร่างกายในกลุ่ม A

(McAtamney and Corlett, 1993)



ขา 1 ถ้าขาและเท้ามีที่พิงอย่างดีและเกิดท่าทางที่สมดุล

2 ถ้าไม่มี

รูปที่ 2.2 ระดับคะแนนของท่าทางของส่วนร่างกายในกลุ่ม B

(McAtamney and Corlett, 1993)

ตารางที่ 2.9 ตารางคะแนน B โดยใช้ท่าทางของส่วนร่างกายในกลุ่ม B

(McAtamney and Corlett, 1993)

ของ ลำคอ	คะแนน											
	1		2		3		4		5		6	
	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	ขา	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	1	3	2	3	3	4	5	5	6	6	7	7
2	2	3	2	3	4	5	5	5	6	7	7	7
3	3	3	3	4	4	5	5	6	6	7	7	7
4	5	5	5	6	6	7	7	7	7	7	8	8
5	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
6	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9

ตารางที่ 2.10 คะแนนจากการใช้กล้ามเนื้อ (McAtamney and Corlett, 1993)

เพิ่มคะแนนอีก 1 คะแนนถ้า :

- เป็นภาระงานแบบสถิต โดยถือไวนานกว่า 1 นาที
- เป็นงานซ้ำซาก โดยทำมากกว่า 4 ครั้งต่อนาที

ตารางที่ 2.11 คะแนนจากแรงหรือภาระงาน (McAtamney and Corlett, 1993)

0	1	2	3
- ไม่มีแรงต้าน หรือ มีภาระ/แรง 2 กก. เป็นช่วงๆ	- มีภาระ/แรง 2-10กก. เป็นช่วงๆ	- มีภาระ/แรง 2-10กก. ในภาวะสถิต - มีภาระ/แรง 2-10กก. ซ้ำๆกัน	- มีภาระ/แรง มากกว่า 10กก. ในภาวะสถิต - มีภาระ/แรง มากกว่า 10กก. ซ้ำๆกัน - มีแรงกระแทก ในช่วงสั้นๆ

ตารางที่ 2.12 ตารางคะแนนผลลัพธ์ โดยใช้คะแนน C และ D

(McAtamney and Corlett, 1993)

คะแนน C (ระยางส่วนบน)	คะแนน D (คอ ลำตัว ขา)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	3	3	4	5	5
2	2	2	3	4	4	5	5
3	3	3	3	4	4	5	6
4	3	3	3	4	5	6	6
5	4	4	4	5	6	7	7
6	4	4	5	6	6	7	7
7	5	5	6	6	7	7	7
8	5	5	6	7	7	7	7