บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขนาดสัดส่วนร่างกายจะเป็นเกณฑ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งในการออกแบบสร้างเครื่องมือ เครื่องจักรและเครื่องใช้ต่าง ๆ ซึ่งข้อมูลด้านสัดส่วนร่างกายนี้จะเหมาะสม มีความถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานออกแบบทางด้านวิศวกรรมได้ดีเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้วัดข้อมูล Rudolf Martin (Hertzberg, 1968) พัฒนาเทคนิคการวัดข้อมูลด้านสัดส่วนร่างกาย โดยพิจารณาถึงตำแหน่งที่หมาย (landmark) ต่าง ๆของร่างกายที่เป็นจุดหลักเริ่มต้นและสิ้นสุดในการวัดสัดส่วนร่างกายแต่ละสัดส่วน Kroemer (1970) แสดงให้เห็นว่าความเที่ยงตรงและประสิทธิภาพในการวัดสัดส่วนร่างกายจะเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการวัดมาก Roebuck et al. (1975) ได้เสนอแนะไว้ว่าการใช้เครื่องมือวัดที่ไม่ยืดหยุ่น (Rigid Instrument) ควรทำให้ถูกต้องและระมัดระวังในเรื่องตำแหน่งที่ทำการวัด โดยฝึกหัดให้ผู้วัดสามารถใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่ควบคุมอย่างถูกต้องและมีทักษะเกิดความชำนาญ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าเทคนิคหรือวิธีใช้ในการวัด เครื่องมือวัด ตำแหน่งของร่างกายที่ทำการวัดและการวัดสัดส่วนร่างกายในลักษณะที่ผู้ถูกวัดสวมเสื้อผ้าหรือไม่สวมนั้น จะทำให้ข้อมูลสัดส่วนร่างกายในตำแหน่งเดียวกันมีค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

Roebuck et al. (1975) ได้เสนอเทคนิคการวัดสัดส่วนร่างกายซึ่งเป็นที่ยอมรับไว้ 2 แบบ คือวิธีโดยตรงและโดยอ้อม วิธีโดยตรงนั้นจะใช้เครื่องมือวัด เช่น เทปวัดและแอนโทรโพมิเตอร์ (Anthropometer) โดยขณะทำการวัดนั้นเครื่องมือวัดจะสัมผัสกับร่างกายของผู้ถูกวัดในตำแหน่งที่ทำการวัด ส่วนวิธีโดยอ้อมจะใช้การถ่ายภาพเพื่อบันทึกรายละเอียดที่สามารถวัดและแปลความหมายได้

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2515) ได้ส่งแบบสอบถามเรื่องอายุ ความสูงและน้ำหนักของชายและหญิงไปยังสถาบันการศึกษาและหน่วยงานราชการทั่วประเทศ เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านอายุ ความสูงและน้ำหนักของทั้งชายและหญิง ส่วนสัดส่วนร่างกายตำแหน่งอื่น ๆ ได้คำนวณโดยเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์จากความสูงของแต่ละบุคคล เช่น ความสูงระดับตาในขณะยืน

จะเท่ากับ 93.3% ของความสูงยืน ซึ่งข้อมูลที่หาได้ด้วยวิธีการข้างต้นนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้กับด้านวิศวกรรมมนุษย์ (Human Engineering)

Kovit Satavuthi (1979) ได้เสนอข้อมูลสัดส่วนร่างกายของคนงานในกรุงเทพฯ และจังหวัดใกล้เคียง โดยทำการวัดสัดส่วนร่างกายเพียงบางสัดส่วนของคนงานชาย 1,265 คน และคนงานหญิง 858 คน แล้วหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2528) ได้เสนอข้อมูลสัดส่วนร่างกายของคนไทยโดยสุ่มตัวอย่างชาย 9,442 คน หญิง 6,965 คน จากทุกภาคของประเทศไทย แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสูงสุดต่ำสุดของแต่ละสัดส่วนตามช่วงอายุต่าง ๆโดยที่ข้อมูลเหล่านี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปใช้กับอุตสาหกรรมตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป อย่างไรก็ดีในรายงานทั้ง 2 ฉบับ มิได้มีการอธิบายรายละเอียดของการวัดและเครื่องมือวัดที่ใช้วัดสัดส่วนร่างกายซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้ข้อมูลเหล่านี้มีความเชื่อมั่นและเป็นที่ยอมรับมากยิ่งขึ้น

ขนาดสัดส่วนร่างกายของคนมีความแตกต่างกันก็เนื่องมาจาก พันธุกรรม เชื้อชาติ สภาพแวดล้อมด้านภูมิอากาศและภูมิประเทศของแต่ละกลุ่มชน (Van Cott & Kinkade, 1972) การเปลี่ยนแปลงด้านความเจริญเติบโตในแต่ละปีจะเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่าอายุเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้สัดส่วนร่างกายมีความแตกต่างกัน ส่วนเรื่องเพศชายหญิง ก็มีอิทธิพลต่อความแตกต่างด้านสัดส่วนร่างกายเช่นกัน โดยเฉลี่ยแล้วชายไทยจะมีความสูงและน้ำหนักมากกว่าหญิงไทยประมาณ 10-12 ซม. และ 6-7.8 กก. ตามลำดับ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2515 ; Kovit Satavuthi, 1979 ; สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2528)

การทำงานโดยใช้แรงมากเกินกว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนที่ทำงานนั้นจะทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายได้ การประเมินค่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆจะช่วยให้ทราบถึงขีดความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย ใช้ออกแบบสร้างเครื่องมือและเครื่องจักรให้เหมาะสมกับความแข็งแรงของคนกลุ่มนั้น ๆและสามารถใช้ออกแบบการทำงานเพื่อลดการใช้แรงมากเกินความแข็งแรงของกล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ทำงานได้ ถ้าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อไม่เพียงพอต่อความหนักของงานจะทำให้เกิดอันตรายได้หลายแบบ เช่น กล้ามเนื้อส่วนที่ใช้ทำงานฉีกขาด ของหยกหรือผลักอยู่นนหล่นทับ หรือได้รับอันตรายจากเครื่องจักรและเครื่องมือที่ควบคุมหรือใช้งานในขณะนั้น (Chaffin & Park, 1973)

Rodahl (1961) ได้ให้เหตุผลเกี่ยวกับความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่เพิ่มขึ้นนอกเหนือจากขนาดของกล้ามเนื้อโตขึ้น และประสิทธิภาพในการทำงานของกล้ามเนื้อของชายและหญิงจะไม่แตกต่างกันมากนัก ถ้าหากว่าหน่วยที่วัดความแข็งแรงนั้นวัดเป็นหน่วยต่อพื้นที่หน้าตัดของกล้ามเนื้อ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจะค่อย ๆลดลงอย่างช้า ๆหลังอายุ 30 ปี แต่หลังอายุ 50 ปีไปแล้ว จะลดลงอย่างรวดเร็ว ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อทลดลงเหลือเพียง 10-20 เปอร์เซ็นต์ ของความแข็งแรงที่สูงสุด และอัตราการลดในหญิงจะสูงกว่าชาย

สิ่งหนึ่งที่แสดงถึงความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงของคนก็คือกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ (Static Muscle Strength) ซึ่งเป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการสร้างแรงหรือกำลังบิด (Torque) สูงสุด ในช่วงเวลาสั้น ๆโดยร่างกายไม่เคลื่อนที่ และเนื่องจากแรงหรือกำลังบิดมีขนาดและทิศทาง ดังนั้นกำลังสถิตของกล้ามเนื้อจึงเป็นปริมาณเวคเตอร์ ถ้าขณะที่กล้ามเนื้อออกแรงทำให้ส่วนของร่างกายเกิดการเคลื่อนไหว แรงที่วัดได้นั้นจะเป็นกำลังพลวัตของกล้ามเนื้อ (Dynamic Muscle Strength) (Chaffin, 1975)

องค์ประกอบที่มีอิทธิพลต่อเทคนิคการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ และเป็นสาเหตุให้ข้อมูลมีความแปรปรวนสูงมีดังนี้คือ ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ การแนะนำการใช้เครื่องวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อให้แก่ผู้ถูกทดสอบ ท่าทาง (Posture) ของผู้ถูกทดสอบระหว่างการทดสอบ ช่วงระยะเวลาในการออกแรง ระยะเวลาพักผ่อนระหว่างการทดสอบและรายงานการทดสอบและการวิเคราะห์ทางสถิติ (Kroemer, 1970) Roebuck et al.(1975) กล่าวถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการวัดกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ ซึ่งตัวแปรต่าง ๆมีดังนี้คือ เครื่องมือวัด ลักษณะของเวคเตอร์ของแรง เพศ อายุและลักษณะงานประจำของผู้ถูกทดสอบ ท่าทางของผู้ถูกทดสอบระหว่างการทดสอบ วิธีออกแรงรวมถึงช่วงระยะเวลาในการออกแรง สิ่งจูงใจผู้ถูกทดสอบ และสภาพแวดล้อมขณะทดสอบ

Asmussen & Heeboll-Nielsen (1962) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆกับอายุ โดยเลือกสุ่มตัวอย่างชาย 360 คน หญิง 250 คน ช่วงอายุระหว่าง 15-60 ปี มาทดสอบพบว่าชายจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้นจนถึงอายุ 30 ปี และจะต่ำลงเมื่ออายุมากขึ้น เมื่ออายุ 30 ปี และ 60 ปี จะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อประมาณ 104% และ 90% ของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเมื่ออายุระหว่าง 20-22 ปี ตามลำดับ ส่วนหญิงนั้นจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมากที่สุดเมื่ออายุประมาณ 20 ปี โดยทั่วไปแล้วหญิงจะมีกำลังสถิตของ

กล้ามเนื้อประมาณ 65% ของชาย และเมื่ออายุ 40 ปี ขึ้นไป หญิงจะมีอัตราการลดลงของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อมากกว่าชาย

โดยทั่วไปหญิงจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อน้อยกว่าชาย ซึ่งประมาณได้ว่าหญิงจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเพียง 2 ใน 3 ของชาย (Roebuck et el. 1975) จากการศึกษาความแตกต่างของกำลังสถิตของกล้ามเนื้อระหว่างกลุ่มคนที่มีอายุต่างกันพบว่ากำลังสถิตของกล้ามเนื้อจะมีมากเมื่ออายุระหว่าง 20-30 ปี และจะต่ำลงเมื่ออายุมากขึ้น โดยเฉลี่ยคนที่มีอายุ 40 ปี และ 60 ปีจะมีกำลังสถิตของกล้ามเนื้อลดลงประมาณ 5% และ 20% จากกำลังสถิตของกล้ามเนื้อเมื่ออายุ 20-30 ปี ตามลำดับ (Hertzberg, 1972 ; Roebuck et al. 1975)

Laubach & McConville (1969) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของน้ำหนักและสัดส่วนของร่างกายที่มีต่อกำลังสถิตของกล้ามเนื้อ โดยเลือกสุ่มตัวอย่างชาย 77 คน ที่มีอายุระหว่าง 16-39 ปี นำมาทดสอบพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสถิตของกล้ามเนื้อกับน้ำหนักร่างกายทั้งหมดและน้ำหนักร่างกายที่ปราศจากไขมัน (Lean Body Mass) มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ประมาณ 0.3 ถึง 0.58 นอกจากนี้ยังพบว่าความสูงยืนจะมีความสัมพันธ์กับกำลังสถิตของกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆน้อยมาก

ในขณะทำงานกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆที่ต้องออกแรงนั้นจะหดตัว การหดตัวของกล้ามเนื้อจะมีผลต่อการเคลื่อนไหวของร่างกายและกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆด้วย พลังงานสำหรับใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อได้มาจากกระบวนการทางเคมี 2 ประเภท คือแอโรบิค (ใช้ออกซิเจนในการสันดาปอาหารเพื่อทำให้เกิดพลังงาน) และอะแนโรบิค (พลังงานที่ได้มาโดยไม่ใช้ออกซิเจน) แต่จะใช้พลังงานแบบอะแนโรบิคน้อยเมื่อทำงานอย่างเต็มที่นาน 40 วินาที (Fox & Mathews, 1981) เพราะฉะนั้นการวัดค่า PWC ก็คือการวัดอัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุด หรือความสามารถสูงสุดในการทำงานแบบแอโรบิค

ความสามารถสูงสุดในการทำงานแบบแอโรบิคจะถูกจำกัดโดยความสามารถในการหายใจและระบบการทำงานของหัวใจ ปอดและหลอดเลือด เพื่อส่งออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อที่ทำงาน ดังนั้นเกณฑ์ที่บอกถึงความสามารถสูงสุดของร่างกายในการทำงานแบบแอโรบิคก็คืออัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุด (Rowell et el. 1964)

ความสามารถสูงสุดในการทำงานโดยใช้แรงของคนจะขึ้นอยู่กับอายุ เพศ ขนาดของร่างกาย ลักษณะทางพันธุกรรม การฝึกหัด วิธีการและเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ โดยส่วนมาก

แล้วแต่ละคนจะมีความสามารถทำงานแบบแอโรบิคเพิ่มขึ้นเมื่ออายุระหว่าง 15 ถึง 17 ปี และเริ่มลดลงเมื่ออายุประมาณ 30 ปี (Astrand & Rodahl, 1977)

Robinson (1938) ได้ทดสอบชายอายุ 6 ถึง 75 ปี จำนวน 81 คน พบว่าอัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในวัยเด็ก ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วเด็กชายอายุ 6.1 ปี จะมีอัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุดประมาณ 0.98 ลิตร/นาที เมื่อเปรียบเทียบกับ 2.63 ลิตร/นาที ของกลุ่มเด็กชายอายุ 14.1 ปี ความสามารถสูงสุดในการทำงานโดยใช้แรง หรืออัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุดนจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่ออายุเฉลี่ยประมาณ 17.4 ปี และค่อย ๆลดลง เมื่ออายุประมาณ 30 ปี แต่หลังอายุ 50 ปี ไปแล้ว อัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุดจะลดลงมากขึ้น

จากรายงานผลการสำรวจแรงงานทั่วราชอาณาจักร (รอบที่ 1) ก.พ. 2528 จะเห็นว่าช่วงอายุระหว่าง 20-24, 25-29, 30-34, 35-39 และ 40-49 ปี มีจำนวนคนทำงานมากกว่าช่วงอายุอื่น ๆ (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2529) ทั้งนี้เนื่องจากว่าคนที่มีอายุต่ำกว่า 20 ปี และมากกว่า 49 ปี เป็นช่วงอายุที่มีความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงต่ำกว่า จึงทำให้จำนวนคนทำงานน้อยกว่าช่วงอายุดังกล่าว

ความสามารถสูงสุดในการทำงานโดยใช้แรงของหญิงจะน้อยกว่าชายประมาณ 10% ถึง 25% Drinkwater et al. (1979) ได้ทำการวิจัยพบว่าความสามารถสูงสุดในการทำงานโดยใช้แรงของชายและหญิงจะไม่แตกต่างกันเลยในช่วงเป็นเด็กและจะแตกต่างกันมากเมื่อเป็นหนุ่มสาวจนถึงอายุกลางคน ความสัมพันธ์เหล่านี้มาจากความจริงที่ว่าขนาดร่างกายของชายและหญิงแตกต่างกันน้อยมากเมื่อเป็นเด็กและจะแตกต่างกันมากขึ้นเมื่อเป็นผู้ใหญ่ (Davies et al. 1972) คนที่มีความสามารถในการทำงานสูงมาก ๆมักจะมีค่า PWC สูงมากด้วย (Saltin & Astrand, 1967) คนที่มีความสามารถในการทำงานต่ำจะมีค่า PWC ต่ำ เพราะว่าเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อไม่มีความสามารถรับออกซิเจนได้มากพอจึงไม่สามารถใช้พลังงานได้มาก (Buskirk & Taylor, 1957)

การกำหนดค่า PWC ด้วยอัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุด (VO_2 max) นั้น ค่า VO_2 ที่สภาวะความดัน อุณหภูมิมาตรฐานและไม่มีความชื้น (Standard Temperature and Pressure and Dry, STPD) สามารถคำนวณโดยใช้สมการทั่วไป (Fox & Mathews, 1981, หน้า 607) ที่สมมติว่าสัดส่วนปริมาตรของออกซิเจนในอากาศที่หายใจเข้านั้นมีค่าเท่ากับ 0.2094 ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$VO_2 = V_E \left[\frac{1-(F_{EO_2}+F_{ECO_2})}{0.7906}\right] 0.2094 - V_E F_{EO_2} \quad \text{---------- (2.1)}$$

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจนที่ STPD (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

V_E คือ ปริมาตรของลมหายใจออกต่อนาทีที่ STPD (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

F_{EO_2} คือ สัดส่วนปริมาตรของออกซิเจนในอากาศที่หายใจออก

F_{ECO_2} คือ สัดส่วนปริมาตรของคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศที่หายใจออก

$$V_E = V_e \frac{(273)(P-P_{H_2O})}{(273+T)(760)} \quad \text{(Consolazio et al. 1963)}$$

เมื่อ V_e คือ ปริมาตรของลมหายใจออกต่อนาทีในขณะทำงาน ที่สภาวะความดัน อุณหภูมิห้องทดสอบและมีความชื้นอิ่มตัว (Ambient Temperature and Pressure, Saturated with Water Vapor, ATPS) (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

T คือ อุณหภูมิของอากาศที่หายใจออกในขณะทำงาน (มีหน่วยเป็น °C)

P คือ ความดันบรรยากาศ (มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรปรอท)

P_{H_2O} คือ ความดันไอน้ำที่อุณหภูมิของอากาศที่หายใจออกในขณะทำงาน (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท)

Bernard et al. (1979) ได้สร้างสมการอัตราการใช้ออกซิเจนจากอัตราของอากาศที่หายใจออกที่ STPD ในระหว่างการทำงานโดยแยกพิจารณาเป็นสมการสำหรับชายสมการหนึ่ง (ดังแสดงในสมการที่ 2.2) และหญิงอีกสมการหนึ่ง ทั้งนี้เนื่องจากว่ารูปแบบของกราฟซึ่งสร้างขึ้นระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนกับปริมาตรของลมหายใจออกต่อนาทีที่ STPD นั้นมีลักษณะการกระจายของข้อมูลมากน้อยต่างกันและยังพบว่าอายุจะเป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการใช้ออกซิเจนด้วย

$$VO_2 = (0.69-0.002A)V_E^{0.44}-1.47 \quad \text{---------- (2.2)}$$

เมื่อ VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจนที่ STPD (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

V_E คือ ปริมาตรของลมหายใจออกต่อนาทีที่ STPD (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

A คือ อายุ (มีหน่วยเป็น ปี)

Tayyari et al. (1985) ได้สร้างสมการเพื่อใช้กะประมาณค่า VO_2 max สำหรับชาย โดยมีอัตราการใช้ออกซิเจนที่ STPD และอัตราการเต้นของหัวใจในขณะทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆเป็นตัวแปรอิสระ ทำให้การกะประมาณค่า VO_2 max สะดวกมากขึ้นกว่าการใช้โนโมแกรมของแอสเทรนด์ (Astrand-Astrand Nomogram) (Astrand & Rodahl, 1977) ซึ่งรูปแบบของสมการแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$VO_2 \text{ max} = (131.5VO_2)/(HR-62) \quad \text{---------- (2.3)}$$

เมื่อ VO_2 max คือ อัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุด (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจนที่ STPD (มีหน่วยเป็น ลิตร /นาที)

HR คือ อัตราการเต้นของหัวใจที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆ (มีหน่วยเป็นครั้ง/นาที)

Von Dobeln et al. (1967) ได้เลือกสุ่มตัวอย่างคนงานชายที่ทำงานก่อสร้าง 84 คน ซึ่งมีอายุระหว่าง 30-70 ปี มาทดสอบความสามารถในการทำงานโดยใช้แรงด้วยวิธีปั่นจักรยานทดสอบที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆจนถึงสภาวะคงตัว (Steady State) แล้ววัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจและ VO_2 เพื่อนำมาสร้างสมการ VO_2 max ที่มีอายุ ระดับความหนักของงาน (มีหน่วยเป็นกิโลปอนด์ เมตร/นาที) และอัตราการเต้นของหัวใจที่สภาวะคงตัวเป็นตัวแปรอิสระ ดังแสดงในสมการที่ 2.4

$$VO_2 \text{ max} = 1.29[L/(H-60)]^{1/2}e^{-0.00884T} \quad \text{---------- (2.4)}$$

เมื่อ VO_2 max คือ อัตราการใช้ออกซิเจนที่สูงสุด (มีหน่วยเป็น ลิตร/นาที)

H คือ อัตราการเต้นของหัวใจที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆ (มีหน่วยเป็นครั้ง/นาที)

L คือ ระดับความหนักของงาน (มีหน่วยเป็นกิโลปอนด์ เมตร/นาที)

T คือ อายุ (มีหน่วยเป็น ปี)

การทดสอบเพื่อหาค่า PWC หรือ VO_2 max ทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันมากมีเพียง 3 วิธี คือการวิ่งบนแท่นวิ่ง (Treadmill Exercise) การปั่นจักรยานทดสอบ (Bicycle Ergometry Exercise) และวิธีการก้าวขึ้นที่สูง (Bench Stepping) ซึ่ง Kasch et al. (1966) ได้เปรียบเทียบวิธีการวิ่งบนแท่นวิ่ง กับวิธีการก้าวขึ้นที่สูง เพื่อหาค่า VO_2 max โดยเลือกสุ่มตัวอย่างชาย 10 คน หญิง 2 คน มาทำการทดสอบแบบเพิ่มค่าความหนักของงานขึ้นเรื่อย ๆ (Progressive Procedures) พบว่าค่า VO_2 max ที่หาได้โดยวิธีทั้งสองนี้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่นิยมใช้วิธีการก้าวขึ้นที่สูงมากกว่าเพราะราคาถูก ใช้ง่าย ปลอดภัยและสามารถใช้ทดสอบกับคนที่มีอายุน้อยถึงคนสูงอายุได้ Astrand & Rodahl (1977) ได้พิจารณาถึงข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีที่กล่าวไว้ข้างต้นซึ่งพอสรุปได้ดังนี้ การวิ่งบนแท่นวิ่งจะนิยมใช้กับหนุ่มสาวมากกว่าคนสูงอายุ เพราะว่าคนสูงอายุจะวิ่งบนแท่นวิ่งได้ยากและราวที่จับยึดของแท่นวิ่งจะทำให้เกิดการทำงานมากขึ้น ซึ่งไม่สามารถประมาณได้ อย่างไรก็ตามวิธีการทดสอบด้วยการวิ่งบนแท่นวิ่งจะให้ค่า VO_2 max สูงเพราะว่าการเดินหรือวิ่งกล้ามเนื้อจะทำงานมาก การทดสอบโดยการปั่นจักรยานทำให้สามารถวัดความหนักเบาของการทำงานได้เที่ยงตรงและการตอบสนองทางด้านสรีระ เช่น ECG และความดันโลหิตจะวัดได้ง่ายขึ้นเพราะว่าร่างกายส่วนบนเคลื่อนไหวน้อย แต่การทดสอบด้วยวิธีนี้จะทำให้กล้ามเนื้อขาเพียงแห่งเดียวเกิดความเครียดมาก ดังนั้นอาจทำให้ผู้ถูกทดสอบเจ็บกล้ามเนื้อขาและหยุดการทดสอบก่อนที่จะวัดค่า VO_2 max ได้ ส่วนวิธีการก้าวขึ้นที่สูงเป็นวิธีที่เครื่องมือที่ใช้ราคาถูก สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย แต่ลักษณะการทดสอบซึ่งเป็นการก้าวขึ้นลงจึงเป็นภาระยากลำบากต่อการรักษาสมดุลย์ของการทรงตัว แม้กระทั่งคนที่ฝึกทำงานหนักมาเป็นอย่างดีแล้วก็ตาม

Kamon & Ayoub (1976) ได้พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและเวลาพบว่า สภาวะคงตัวจะเกิดขึ้นเมื่ออัตราใช้ออกซิเจนมีค่าเท่ากับความต้องการออกซิเจนของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อที่กำลังทำงาน ที่สภาวะคงตัวนจะมีอัตราการเต้นของหัวใจและการถ่ายเทอากาศของปอด (Pulmonary Ventilation) ในระดับประมาณคงที่ตลอดเวลาที่ยังทำงานนั้นอยู่ ดังนั้นจึงวัดค่า VO_2 ในการทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆเมื่ออยู่ในสภาวะคงตัว Astrsnd & Saltin (1961) เสนอแนะไว้ว่าการทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆซึ่งไม่ใช่งานที่หนักมากจะต้องทำงานนั้นอย่างน้อย 5 นาที จึงจะถึงสภาวะคงตัว

Kamon & Ayoub (1976) ได้แบ่งวิธีการหาค่า VO_2 max ออกเป็น 2 วิธี คือ วิธีโดยตรงและโดยอ้อม วิธีโดยตรงนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและระดับความหนักของงานโดยดำเนินการได้ 2 แบบ คือการดำเนินงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Procedure) และการดำเนินงานแบบต่อเนื่อง (Continuous or Progressive Procedure) การดำเนินแบบไม่ต่อเนื่องจะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าค่า VO_2 ที่วัดได้นั้นเป็นค่าที่สภาวะคงตัวจริง ช่วงเวลาที่ใช้วัดค่า VO_2 จะเป็นช่วงเวลาพักของผู้ถูกทดสอบ จากนั้นให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานที่สูงขึ้นเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที แล้ววัดค่า VO_2 ทำเช่นนั้นไปเรื่อย ๆจนกระทั่งค่า VO_2 ที่วัดได้ครั้งหลังสุดมีค่ามากกว่า VO_2 ครั้งก่อนหน้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ซม.^{3}/กก.นาที จะถือว่าค่า VO_2 ที่วัดได้เป็นค่า VO_2 max ส่วนการดำเนินงานแบบต่อเนื่องจะเพิ่มระดับความหนักของงานแบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผู้ถูกทดสอบยังสามารถทำงานได้และเมื่อผู้ถูกทดสอบไม่สามารถทำงานได้ ค่า VO_2 ที่วัดครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า VO_2 max

วิธีโดยอ้อมจะใช้หลักการ 2 อย่างคือ 1) ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ และ VO_2 ที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงาน และ 2) ค่าอัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุดจะขึ้นอยู่กับอายุ การหาค่า VO_2 max ด้วยวิธีนี้ทำได้โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงาน 2-3 ระดับแล้ววัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจและ VO_2 ที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงาน เพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง VO_2 กับอัตราการเต้นของหัวใจ จากนั้นประมาณค่า VO_2 max เมื่ออัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุดหาได้จาก 220-อายุ (ปี) การหาค่า VO_2 max ด้วยวิธีนี้ก่อนการทดสอบจะให้ผู้ถูกทดสอบทำการออกกำลังเบา ๆ (warm up) ประมาณ 10 นาที และช่วงระยะเวลาพักหลังจากทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆจะต้องนานพอที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจหรือการตอบสนองด้านสรีระอยู่ในสภาพปกติก่อนที่จะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานที่มากขึ้น