# บทที่ 2

## ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

Yu et al. (1984) ได้ทำการรวบรวมและศึกษาถึงงานวิจัยที่ผ่านมา ทำให้สรุปได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างคือ ปัจจัยเสี่ยงอันเนื่องมาจากตัวคนงานเอง (Individual Risk Factors) และปัจจัยของลักษณะงาน (Occupational Factors)

ปัจจัยเสี่ยงอันเนื่องมาจากตัวคนงานเองนั้นได้แก่

- เพศ Magora (1970); Brown (1975) กล่าวว่า อาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างพบในคนงานหญิงมากกว่าคนงานชายในสภาพงานที่เป็นงานหนัก

- อายุ Chaffin & Park (1973) กล่าวว่า อายุไม่มีส่วนสัมพันธ์กับอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง ในขณะที่ Magora (1970) กล่าวไว้ในงานวิจัยของเขาว่า การเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างจะเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับอายุในลักษณะเส้นตรง

- สัดส่วนร่างกาย Undeutsch (1982) พบว่าความสูงของคนงานมีผลต่อการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยอื่นเช่นกันที่พบว่า สัดส่วนร่างกายไม่มีผลต่อการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง (Rowe, 1969 ; Chaffin & Park, 1973)

- ความผิดปกติของร่างกาย เช่น ความยาวของขาทั้งสองไม่เท่ากัน จะเป็นผลให้กระดูกสันหลังเกิดการเอียง และร่างกายไม่สมมาตร อย่างไรก็ตาม (Rowe, 1969) พบว่ากระดูกสันหลังที่เอียงไม่มีส่วนสัมพันธ์กับการบาดเจ็บบริเวณหลัง

- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความสมบูรณ์ของร่างกาย Yu et al. (1984) ได้อ้างถึงงานวิจัยของ Pederson, Petersen and Staffeldt (1975) ; Chaffin Herrin and Keyserling (1978) ว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อมีส่วนสัมพันธ์กับการเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่าง

- ปัจจัยทางด้านจิตวิทยา คนงานที่ทำงานที่เขาไม่พึงพอใจ หรือมีความกังวลจะทำให้เกิดความล้าภายหลังการทำงาน และมักจะทำให้เกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างได้ง่าย (Magora, 1970)

- อาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างในอดีต Buckle, Kember and Wood

(1980) พบว่าในผู้ป่วย 68 ราย พบว่ามีถึงร้อยละ 41 ที่มีประวัติการบาดเจ็บ บริเวณหลังส่วนล่างมาแล้ว 1-3 ครั้ง ในขณะที่ร้อยละ 27 เท่านั้นที่เกิดการบาดเจ็บเป็นครั้งแรก และจากการศึกษาในด้านข้อมูลของการเจ็บป่วย Rowe (1969) พบว่า ร้อยละ 85 ของผู้ป่วยมีประวัติการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างมาแล้ว

ส่วนปัจจัยอันเกิดจากลักษณะของงาน (Occupational Factors) นั้นได้แก่ ความหนักเบาของงาน, ลักษณะสถานที่ทำงาน ซึ่งการทำงานในสถานประกอบการประเภทอุตสาหกรรมหนัก จะทำให้คนงานมีโอกาสเกิดอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างได้มากกว่าคนงานในสถานประกอบการประเภทอุตสาหกรรมขนาดเบา (Yu et al., 1984 อ้างจาก Hult, 1954 ; Magora, 1970)

Anderson (1981) ได้แบ่งปัจจัยที่ก่อให้เกิดการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างออกเป็นสองกลุ่มเช่นกัน คือ

ปัจจัยที่เกี่ยวกับสถานที่ทำงาน

- งานที่มีลักษณะหนัก
- ท่าทางในการทำงานที่มีลักษณะสถิต (Statics)
- ความถี่ที่ต้องงอตัว หรือเอี้ยวตัวในขณะทำงาน
- การยกและการเคลื่อนไหวของร่างกาย
- ลักษณะงานที่ซ้ำซาก
- ความสั่นสะเทือนในสถานประกอบการ

ปัจจัยอันเนื่องมาจากตัวของคนงานเอง

- อายุ และ เพศ
- สัดส่วนร่างกาย
- ท่าทางในการทำงาน
- ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความสมบูรณ์ของร่างกาย
- การเคลื่อนไหวของกระดูกสันหลัง
- ปัญหาทางด้านจิตใจ
- ปัญหาทางด้านสังคม
- ปัจจัยทางด้าน Radigraphic

สำหรับงานยกของนั้น นักวิจัยหลายท่านพบว่าความสูงในการยก และความถี่การยกเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อขีดจำกัดความสามารถในการยกของคนงาน ทั้งนี้การยกของที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความสูงต่างกันจะมีผลต่อการใช้กล้ามเนื้อต่างมัดกันในการยก ในขณะที่ความถี่การยกจะมีผลต่อสภาพความเป็นพลวัตของงานยกนั้น ๆ (Jorgensen & Poulsen, 1974; Khalil และคณะ, 1985)

ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่าอาการบาดเจ็บบริเวณหลังส่วนล่างจำนวนมากเกิดจากการที่คนงานทำการยกของหรือขนย้ายวัสดุเกินกำลังความสามารถของร่างกาย (Physical Capacities) ของตนเอง ดังนั้นการป้องกันอาการบาดเจ็บอาจทำได้ด้วยการหาความสามารถในการขนย้ายวัสดุของคนงานแต่ละคนเพื่อเป็นแนวทางมิให้คนงานทำงานเกินขีดจำกัดความสามารถของคนงานนั้นๆ Ayoub (1977) ซึ่งวิธีการในการหาขีดจำกัดในการยกของคนงานอาจทำได้ในสามแนวทางคือ

1. เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักการตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)
2. เกณฑ์การประเมินโดยหลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysical Approach)
3. เกณฑ์การประเมินโดยหลักชีวกลศาสตร์ (Biomechanical Approach)

**เกณฑ์การประเมินโดยใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยา**

1. <u>โดยการใช้ค่าออกซิเจนที่กล้ามเนื้อต้องใช้ในการทำงาน ($VO_2$) เป็นเกณฑ์</u>

การเคลื่อนไหวของร่างกายและกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ นั้น เกิดขึ้นจากการที่กล้ามเนื้อนั้นๆ เกิดการหดตัว พลังงานสำหรับใช้ในการทำงานของกล้ามเนื้อได้มาจากกระบวนการทางเคมีสองประเภท คือ แอโรบิค (Aerobic Process) และ อะแนโรบิค (Anaerobic Process) (Fox & Mathews, 1981)

ขณะกล้ามเนื้อเริ่มทำงานนั้น จะมีการเพิ่มกระบวนการเมแทบอลิซึม รวมทั้งการใช้ออกซิเจนและการใช้แหล่งพลังงานก็เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของระบบการหายใจและปริมาณการไหลของเลือดไปสู่กล้ามเนื้อ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อต้องใช้ (Astrand & Rodahl, 1977) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าปริมาณออกซิเจนที่กล้ามเนื้อต้องใช้ มีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับปริมาณงานภายนอก (External Work)

อัตราการใช้ออกซิเจน อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการเมแทบอลิซึม และอัตราการเต้นของหัวใจ เป็นตัววัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาที่นิยมใช้กันมากในการวิเคราะห์ระดับ

ความหนักของงานสูงสุดที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากความล้าสะสม ซึ่งควรที่จะถูกนำมาพิจารณาและทำไปปฏิบัติในงานอุตสาหกรรมทุกวันนี้ (งามจิตต์ บริบาลบุรีภัณฑ์, 1993 อ้างจาก National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH], 1981)

ปริมาณของออกซิเจนที่ร่างกายสามารถรับเข้าไปได้มากที่สุดขึ้นอยู่กับ ช่วงเวลาในการทำงานและชนิดของงาน กล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน ความเมื่อยล้าของร่างกาย และสภาพบรรยากาศทั่ว ๆ ไป (จรวยพร ธรณินทร์, 2521)

Kamon & Ayoub (1976) ได้แบ่งวิธีการหาค่า $VO_2max$ ออกเป็นสองวิธีคือ วิธีโดยตรงและโดยอ้อม วิธีโดยตรงนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและระดับความหนักของงานโดยดำเนินการได้สองแบบคือ การดำเนินการงานแบบไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous Procedure) และการดำเนินงานแบบต่อเนื่อง (Continuous or Progressive Procedure) การดำเนินงานแบบไม่ต่อเนื่องจะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่งๆ เป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาที เพื่อให้แน่ใจว่าค่า $VO_2$ จะเป็นช่วงเวลาพักของผู้ทดสอบ จากนั้นให้ผู้ทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานที่สูงขึ้นเป็นเวลาอย่างน้อย 5 นาทีแล้ววัดค่า $VO_2$ ทำเช่นนี้เรื่อยๆจนกระทั่ง $VO_2$ ที่วัดได้ได้ครั้งหลังสุดมีค่ามากกว่า $VO_2$ ครั้งก่อนหน้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2 ซม.$^3$/กก.-นาที จะถือว่าค่า $VO_2$ ที่วัดได้เป็นค่า $VO_2max$ ส่วนการดำเนินงานแบบต่อเนื่องจะเพิ่มระดับความหนักของงานแบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาที่ผู้ทดสอบยังสามารถทำงานได้ และเมื่อผู้ถูกทดสอบไม่สามารถทำงานได้ ค่า $VO_2$ ที่วัดได้ครั้งสุดท้ายจะเป็นค่า $VO_2max$

สำหรับวิธีโดยอ้อมจะใช้หลักการสองอย่างคือ 1. ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างการเต้นของหัวใจ และ $VO_2$ ที่สภาวะคงตัวแต่ละระดับความหนักของงาน และ 2. ค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดจะขึ้นอยู่กับอายุ การหาค่า $VO_2max$ ด้วยวิธีนี้ทำได้โดยให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงาน 2-3 ระดับแล้ววัดค่าอัตราการเต้นของหัวใจและ $VO_2$ ที่สภาวะคงตัวของแต่ละระดับความหนักของงาน เพื่อนำไปสร้างสมการความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง $VO_2$ กับ อัตราการเต้นของหัวใจที่สูงสุด หาได้จาก 220-อายุ(ปี) การหาค่า $VO_2max$ ด้วยวิธีนี้ก่อนการทดสอบจะให้ผู้ถูกทดสอบทำการออกกำลังกายเบา ๆ ประมาณ 10 นาที และช่วงระยะเวลาพักหลังจากทำงานที่ระดับความหนักของงานหนึ่ง ๆ จะต้องนานพอที่จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ หรือการตอบสนองด้านสรีระอยู่ในสภาพปกติ ก่อนที่จะให้ผู้ถูกทดสอบทำงานที่ระดับความหนักของงานมากขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีโดยอ้อมนี้พบว่าค่า $VO_2max$ ที่ได้จะต่างจากวิธีโดยตรงประมาณร้อยละ 10 ถึง 15 (Astrand & Rodahl, 1977)

ขีดจำกัดของ $VO_2max$ ซึ่งเป็นความสามารถสูงสุดแบบแอโรบิค จะแตกต่างกันไปในแต่ละบุคคลและขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ปกติเมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคของกล้ามเนื้อจะถูกนำมาใช้เมื่อมีความต้องการใช้ในการทำงานที่ระดับมากกว่า 50 % ของความสามารถสูงสุดของ $VO_2max$ การทำงานที่เหนือระดับดังกล่าว ยิ่งมีการใช้เมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคสำหรับการทำงานของกล้ามเนื้อ แต่ประมาณการใช้เมแทบอลิซึมแบบอะแนโรบิคมีขีดจำกัด ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทราบว่า $VO_2max$ ของแต่ละบุคคลหรือกลุ่มของบุคคลนั้นเป็นเท่าใด และต้องหลีกเลี่ยงการทำงานที่ยาวนานที่ระดับมากกว่า 50 % ของ $VO_2max$ (NIOSH, 1981)

Astrand (1960) ได้เคยทำการทดสอบโดยให้ผู้ถูกทดสอบทำการปั่นจักรยาน (Cycling Ergometry) เป็นเวลา 7 ชั่วโมง ซึ่งได้ข้อสรุปว่าขีดจำกัดบนของการทำงานควรเป็น 50 % $VO_2max$ อย่างไรก็ตาม Bink (1964) ให้ข้อสรุปที่ต่างกันออกไป โดยกล่าวว่า ขีดจำกัดของงานที่ไม่ทำให้เกิดความล้าควรจะเป็นหนึ่งในสาม หรือประมาณ 33 % ของ $VO_2max$ ในขณะที่ Astrand (1967) ทำการทดสอบในงานก่อสร้างโดยศึกษาใน ช่างก่ออิฐ ช่างไม้ และกรรมกร และทำการสรุปว่า ขีดจำกัดของงานคือ 40 % $VO_2max$

Michael, Hutton, and Horvath (1961) และ Petrofsky & Lind (1978) ได้ศึกษาถึงงานยกของ และได้ข้อสรุปว่า ขีดจำกัดบนที่จะทำให้คนงานทำงานที่เกี่ยวกับการยกของเป็นเวลา 8 ชั่วโมงต่อวัน โดยไม่เกิดความล้า คือ 35 % และ 25 % ของ $VO_2max$ ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามที่กล่าวมาข้างต้นนั้นค่า $VO_2max$ เป็นค่าที่ได้จากเครื่องออกกำลังกายแบบ การขี่จักรยาน (Cycling), การเดินบนลู่วิ่งที่อยู่กับที่ (Treadmill), การก้าวขึ้นก้าวลงบนขั้นบันไดอยู่กับที่ (Stepping) ซึ่งเป็นภาระงานแบบพลวัต (Dynamics) ในขณะที่งานยกของเป็นงานลักษณะผสมผสานระหว่าง ภาระงานแบบสถิต และ ภาระงานแบบพลวัต (Petrofsky & Lind, 1978) ซึ่งจะก่อให้เกิดความล้าได้มากกว่าอันเนื่องมาจากสภาพภาระงานแบบสถิตนั้น กล้ามเนื้อจะเกิดการเกร็งตลอดช่วงเวลาของการทำงาน เป็นผลให้เกิดการกีดกั้นการขนถ่ายออกซิเจนระหว่างเลือดและเนื้อเยื่อ ซึ่งจะทำให้เกิดกรดแลกติกขึ้นในกล้ามเนื้ออันเป็นสาเหตุของความล้า (Lind & Mcnicol, 1967) ดังนั้นงานยกของจึงให้ค่า $VO_2max$ ที่ต่ำกว่าค่า $VO_2max$ ที่ได้จาก Cycling, Treadmill หรือ Stepping ดังนั้นการที่จะนำ $VO_2max$ ที่ได้จาก Cycling Treadmill และ Stepping มาเป็นเกณฑ์สำหรับงานยกของจึงเป็นการไม่ถูกต้อง (Khalil et al., 1985)

Khalil et al., (1985) ได้ศึกษา $VO_2max$ ของงานยกของ ในการยกสามระดับ คือ ยกจากพื้นถึงระดับหัวเข่า ยกจากระดับหัวเข่าถึงระดับหัวไหล่ และยกจากพื้นถึงความสูงระดับหัวไหล่ ด้วยความถี่ 1,3,5,7,9 และ 11 ครั้งต่อนาที ทำให้ได้ข้อสรุปว่า $VO_2max$ ของงานยก

ของอยู่ในช่วง 57-91 % ของ $VO_2max$ ที่ได้จาก Cycling ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญสองปัจจัยคือ ความถี่ของการยก และ ความสูงของการยก พบว่าในการยกที่มีความถี่ต่ำมาก ๆ ลักษณะของงานจะเป็นแบบภาระงานสถิต เป็นผลให้ค่า $VO_2max$ มีค่าต่ำ ในขณะที่ความสูงการยกมีส่วนสัมพันธ์อย่างสูงกับกล้ามเนื้อที่ใช้ในการยก การยกจากระดับพื้นถึงระดับหัวไหล่เป็นการยกที่ใช้ทั้งกล้ามเนื้อแขนและกล้ามเนื้อขาให้ค่า $VO_2max$ สูงที่สุด และการยกจากระดับพื้นถึงระดับหัวเข่าเป็นการยกที่ใช้กล้ามเนื้อขาเป็นหลัก ให้ค่า $VO_2max$ สูงรองลงมา ในขณะที่การยกจากระดับหัวเข่าถึงแนวระดับหัวไหล่เป็นการยกที่ใช้กล้ามเนื้อแขนเป็นหลัก ซึ่งให้ค่า $VO_2max$ ต่ำที่สุด ทั้งนี้เพราะกล้ามเนื้อแขนเป็นกล้ามเนื้อที่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับกล้ามเนื้อขา ความสามารถในการใช้พลังงานแบบแอโรบิคของแขนจึงน้อยกว่า (Asmussen & Hemmingsen, 1958) ทำให้กล้ามเนื้อแขนมีขีดความสามารถจำกัดในการทำงาน เป็นผลให้ค่า $VO_2max$ ที่ได้มีค่าต่ำ ผลของงานวิจัยนี้สอดคล้องกับการทดลองของ Petrofsky & Lind (1978) ซึ่งทดลองให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกของจากพื้นขึ้นไปยังโต๊ะในระดับความสูง 60 ซม. โดยใช้ช่วงน้ำหนัก 0.91 ถึง 36.36 กก. ได้ค่า $VO_2max$ จากการยกของเท่ากับ 54-80 % ของ $VO_2max$ ที่ได้จาก Cycling และเนื่องจากเขาได้กำหนดไว้ว่าขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในงานยกของเท่ากับ 50 % ของค่า $VO_2max$ ดังนั้นเขาจึงสรุปว่า ขีดจำกัดที่ยอมรับได้ในงานยกของเท่ากับ 27-40 % ของ $VO_2max$ ที่ได้จาก Cycling นอกจากนี้แล้ว Samanta & Chatterjee (1981) ได้ทำการทดสอบชาวอินเดียอายุเฉลี่ย 29.3 ปี ทำการยกของจากพื้นสูโต๊ะสูง 66 ซม. และทำการหา $VO_2max$ ของงานยกของ พบว่ามีค่าประมาณ 35 % ของ $VO_2max$ ที่ได้จาก Stepping

2. <u>โดยการใช้ค่าพลังงานที่ต้องใช้ในการทำงานเป็นเกณฑ์</u>

นอกจากการใช้ $VO_2$ เป็นเกณฑ์ในการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาดังที่ได้กล่าวมาแล้ว พลังงานที่ต้องใช้ในการทำงานก็เป็นค่าหนึ่งที่ใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยการวัดอัตราเมแทบอลิซึม ซึ่ง Legmann (1958) พบว่าพลังงานสูงสุดที่ใช้ในการทำงานในวันหนึ่ง ๆ โดยไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพมีค่าประมาณ 4,800 กิโลคาลอรี ซึ่งแบ่งเป็น Basal Metabolism 2,300 กิโลคาลอรี และเป็นพลังงานที่ใช้ในการทำงาน (External Load) 2,500 กิโลคาลอรี ซึ่ง Legmann กล่าวว่าเพื่อความปลอดภัยในการทำงาน ขีดจำกัดของพลังงานที่ใช้ในการทำงานควรจะเป็น 2,000 กิโลคาลอรี เมื่อรวมกับ Basal Metabolism แล้วจึงเท่ากับ 4,300 กิโลคาลอรีต่อวันสำหรับการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ $VO_2max$

เป็นเกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาแล้วเทียบเป็นประมาณ 20 % ของ $VO_2max$ ของผู้ชายในช่วงอายุ 20-30 ปี (Muller, 1962)

3. <u>โดยการใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นเกณฑ์</u>

ข้อดีของการใช้อัตราการเต้นของหัวใจเป็นเกณฑ์ในการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยาก็คืออัตราการเต้นของหัวใจมีความไวต่อผลกระทบของสิ่งแวดล้อม (Environment stress) อาทิ ความร้อนและความชื้นในสถานที่ทำงาน (Brouha et al., 1963) รวมทั้งภาระงานสถิต (Scholz, 1957) มากกว่าการใช้ $VO_2$ เป็นเกณฑ์ในการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยา ในขณะที่ Suggs & Splinter (1961a, 1961b) พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กับการประมาณค่าความล้าเชิงจิตพิสัย (Subjective Estimates of Fatique) สูงกว่า $VO_2$

Morris & Chevalier (1961) เสนอว่า อัตราการเต้นของหัวใจ 130 ครั้งต่อนาที ในการทำงานนั้นสูงเกินไป และได้เสนอว่าขีดจำกัดบนของอัตราการเต้นของหัวใจควรเป็นเพียง 100 ครั้งต่อนาที ในขณะที่ Luongo (1964) ศึกษาปริมาณของแลคเตทในระบบหมุนเวียนโลหิต และพบว่าการทำงานที่อัตราการเต้นของหัวใจ 120 ครั้งต่อนาทีนั้น ก่อให้เกิดความล้าแล้ว

Astrand (1967) ได้ศึกษาอัตราการเต้นของหัวในในงานก่อสร้างสามงาน คือ ช่างก่ออิฐ ช่างไม้ กรรมกร อายุเฉลี่ย 48 ปี พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าประมาณ 100 ครั้งต่อนาที

Snook & Irvire (1969) ได้ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจในงานยกของสามระดับคือ ยกของจากพื้นถึงระดับหัวเข่า, ยกของจากระดับหัวเข่าถึงระดับหัวไหล่ และยกจากระดับหัวไหล่ถึงระดับมือเอื้อม ในคนงานชาย 12 คน อายุเฉลี่ย 29 ปี พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าประมาณ 110 ครั้งต่อนาที สำหรับการยกของจากระดับหัวเข่าถึงระดับหัวไหล่และการยกของจากระดับหัวไหล่ถึงระดับมือเอื้อมซึ่งเป็นการยกที่ใช้กล้ามเนื้อแขนเป็นหลัก สำหรับการยกของจากพื้นถึงระดับหัวเข่า ซึ่งเป็นการยกที่ใช้กล้ามเนื้อขาเป็นหลักในการยก อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าประมาณ 112 ครั้งต่อนาที

Astrand (1960) ศึกษาอัตราการเต้นของหัวใจในคนงานชายอายุระหว่าง 40-49 ปี ในการการทดสอบบน Cycling ที่ 50 % $VO_2max$ พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจมีค่าเฉลี่ยประมาณ 113 ครั้งต่อนาที

**เกณฑ์การประเมินโดยใช้หลักจิตฟิสิกส์ (Psychophysics)**

จิตวิทยา (Psychology) เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยความรู้สึกนึกคิด จิตใจ อันจะเป็นปัจจัยภายในใจที่จะเป็นเครื่องกระตุ้นบุคคลให้แสดงอาการต่าง ๆ อันเป็นเครื่องชี้ถึงพฤติกรรมมนุษย์ในแต่ละบุคคล (แน่งน้อย พงษ์สามารถ, 2519)

จิตฟิสิกส์ (Psychophysics) เป็นสาขาหนึ่งของจิตวิทยา เป็นการศึกษาถึงสิ่งเร้าทางกายภาพและการตอบสนองของร่างกายต่อสิ่งเร้า Stevens (1960) ได้แสดงให้เห็นว่าความแรงของการตอบสนองมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อสิ่งเร้าที่มากระทบ โดยที่เป็นความสัมพันธ์แบบฟังก์ชั่นกำลัง

$$S = KI^n$$

โดยที่ S = ความแรงของการตอบสนอง

I = ระดับความเข้มของสิ่งเร้า

K = ค่าคงที่

n = ค่าความชันของฟังก์ชันกำลังเมื่อลงจุดในกราฟ Log-Log Scale ซึ่ง Stevens (1975) ได้เสนอว่าสำหรับงานยกของ n ควรจะเท่ากับ1.45

ได้มีการนำหลักของจิตฟิสิกส์ไปใช้ประโยชน์มากมาย อาทิ การศึกษาและกำหนดระดับของอุณหภูมิ เสียง ความสว่าง ที่มีผลต่อร่างกาย รวมถึงการนำไปเป็นเกณฑ์ในการกำหนดมาตรฐานในงานยกของและการขนถ่ายวัสดุอีกด้วย (Snook, Irvine, and bass, 1970) นอกจากนี้จิตฟิสิกส์ยังเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้กำหนดขีดจำกัดของการยกที่ยอมรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตราย (Maximum Acceptable Weight, MAW) ในงานที่มีการยกแบบซ้ำซากอย่างได้ผล (Legg & Myles, 1981)

หลักการของการใช้จิตฟิสิกส์ในการกำหนดน้ำหนักที่ยอมรับได้โดยไม่ทำให้เกิดอันตราย (MAW) นั้นคือ การทดลองให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกกล่องน้ำหนักต่าง ๆ โดยที่มิให้ผู้ถูกทดสอบรับรู้ถึงน้ำหนักที่แท้จริง เพื่อให้ผู้ถูกทดสอบเลือกน้ำหนักที่มากที่สุดที่เขาพึงพอใจว่าหากต้องทำการยกตลอดกะของการทำงานโดยที่ไม่ทำให้เกิดความเครียด (Strain), ภาวะไม่สบาย, ความเหนื่อย, อุณหภูมิของร่างกายสูงเกินขนาด หรือ หายใจไม่ทัน (Snook, Irvine, and Bass, 1970)

Snook, Irvine, and Bass (1970) ได้ทำการศึกษาหาค่าของ MAW ของงาน 6 งานคือ ยกของขึ้นโต๊ะ ยกของลงจากโต๊ะ ผลักของ ลากของ แบกของ และการเดิน ค่าภาระงานที่

ผู้ถูกทดสอบเลือกว่าเป็นภาระงานที่หากว่าต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง 8 ชั่วโมงต่อวันแล้วจะไม่เกิดความเครียด (Strain), ภาวะไม่สบาย, ความเหนื่อย, อุณหภูมิของร่างกายสูงเกินขนาด หรือหายใจไม่ทัน จะเป็นค่า MAW ซึ่งจากการทดลองพบว่าในการยกของขึ้นและลงในระดับพื้นถึงระดับข้อนิ้วมือ (Knuckle Height) นั้นจะให้ค่า MAW ต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทั้งนี้อันเนื่องมาจากความเร็วในการยกของลงมีค่ามากกว่าความเร็วในการยกของขึ้น ส่วนค่า MAW ขณะเริ่มผลักของมีค่าสูงกว่า MAW ขณะเริ่มลากของ

Foreman, Baxter, and Troup (1984) ศึกษาถึงค่า MAW ในงานยกของแบบ Isometric Lifting ในสองระดับคือระดับเข่าและเอว ซึ่งเป็นภาระงานแบบสถิตและการยกของจากพื้นขึ้นบนโต๊ะซึ่งมีความสูงระดับเอว ซึ่งเป็นภาระงานแบบพลวัต ซึ่งพบว่าค่า MAW ของการยกในลักษณะภาระงานแบบสถิตในระดับเอวและระดับเข่าเท่ากับ 7.96 และ 21.97 กิโลกรัม ตามลำดับ ในขณะที่ค่า MAW ของการยกในลักษณะภาระงานแบบพลวัตที่ระดับเอวมีค่า 14.01 กิโลกรัม ซึ่งพบว่าค่า MAW ในงานยกที่มีลักษณะภาระงานแบบสถิตมีค่าต่างไปจากค่า MAW ของงานยกที่มีลักษณะภาระงานแบบพลวัต

Garg & Saxena (1979) ทำการทดลองหา MAW ในนักศึกษาชาย 6 คนโดยวิธีจิตฟิสิกส์ของงานยกของสามลักษณะ คือ ยกตามสบาย ก้มหลัง-ขาตรง (Stooped Back), หลังตรง-เข่างอ (straight Back) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach) ที่กำหนดไว้คือ 5 กิโลคาลอรีต่อนาที ซึ่งพบว่าค่า MAW ที่หาได้จากวิธีจิตฟิสิกส์ จะสอดคล้องกับเกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาเฉพาะที่ความถี่การยกสูงเท่านั้น

Legg & Myles (1981) ทำการเปรียบเทียบค่าMAW โดยผลของวิธีจิตฟิสิกส์ที่ได้กับเกณฑ์ที่ได้จากแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา และวิธีการประเมินค่าเชิงจิตพิสัย (Subjective Rating Method) ในทหาร 10 คน ที่ผ่านการอบรมเรื่องการยกของมาแล้ว โดยทำการทดลองสองแบบคือเริ่มต้นน้ำหนักการยกที่ 40 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม ทำการเพิ่มน้ำหนักจนกระทั่งถึงค่า MAW จากการใช้ ANOVA ทำการวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ พบว่าค่า MAW ของการเริ่มต้นทดลองที่น้ำหนัก 40 กิโลกรัม และ 5 กิโลกรัม มีค่าไม่แตกต่างกัน เมื่อนำค่า MAW จากวิธีจิตฟิสิกส์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากวิธีการประเมินค่าเชิงจิตพิสัยพบว่าค่าที่ได้จากวิธีการประเมินค่าเชิงจิตพิสัยมีค่าต่ำกว่าค่า MAW ที่ได้จากวิธีจิตฟิสิกส์ ทั้งนี้เพราะวิธีการประเมินค่าเชิงจิตพิสัยจะมีอิทธิพลของระยะเวลาในการทดลองเข้ามาครอบงำ นอกจากนั้นแล้วยังไม่เป็นที่ชัดเจนว่าค่า MAW จากวิธีจิตฟิสิกส์มีความสอดคล้องกับผลที่ได้เมื่อใช้เกณฑ์ทางการ

ตอบสนองทางสรีรวิทยาเป็นเกณฑ์ อย่างไรก็ตามพบว่าโดยวิธีจิตฟิสิกส์นั้นสามารถกำหนดเกณฑ์ความหนักเบาในการทำงานให้กับคนงานได้

Garg, Mital, and Asfour (1980) ทำการหาค่า MAW ในรูปความสัมพันธ์ของ Isometric Static Strength อันเป็นลักษณะทางกายภาพของคนงาน แต่ข้อเสียของแบบจำลองนี้ก็คือไม่ได้มีการพิจารณาถึงลักษณะของงาน อาทิ ความกว้างของกล่องที่ทำการยก ความถี่ในการยก ความสูงในการยก ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตอบสนองของร่างกายด้วย (Taboun & Dutta, 1985) ในขณะที่ Eckenrath & Norman (1984) กล่าวว่าการศึกษาเฉพาะลักษณะของงานเพียงอย่างเดียวโดยไม่พิจารณาถึงลักษณะทางกายภาพของคนงานก็เป็นการไม่ถูกต้องเช่นกัน เนื่องจากความสูงความสูงของคนงานมีผลต่อองศาของร่างกายในขณะทำงานซึ่งจะส่งผลไปถึงโมเมนต์ที่กระทำต่อ กระดูกบริเวณหลังส่วนล่างต่างกันไปด้วย

**เกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์**

1. <u>การคำนวณภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลัง</u>

ในการพิจารณาเพื่อที่จะเปรียบเทียบภาระงานที่กระทำบนกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับ (MAL) นั้นเป็นการนำเอาศาสตร์ทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เข้ามาเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้สามารถทราบว่า ลักษณะงานที่ทำนั้น ๆ เกินค่า MAL หรือไม่ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขหรือปรับปรุงสภาพการทำงานให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด

การคำนวณทางชีวกลศาสตร์เพื่อหาแรงลัพท์ที่เกิดขึ้นต่อกล้ามเนื้อและกระดูกข้อต่อจากการทำงานนั้น มีอยู่สองแนวทางใหญ่ ๆ คือ การคำนวณในสภาวะสถิต (Statics) และในสภาวะพลวัต (Dynamics)

การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในระยะเริ่มแรกนั้นเป็นการคำนวณในภาวะสถิต (Statics) โดยสมมติให้ร่างกายของคนประกอบด้วยส่วนแต่ละส่วนที่เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid links) โดยกำหนดให้ข้อต่อต่าง ๆ มีลักษณะเป็นบานพับแบบง่าย ๆ เช่นงานวิจัยของ Park & Chaffin (1974), Roozbazar (1975) แต่ข้อเสียของการคำนวณชีวกลศาสตร์ในภาวะสถิตนั้นพบว่าแรงที่กระทำต่อกล้ามเนื้อและกระดูกที่คำนวณได้จะมีค่าต่ำกว่าที่ได้จากภาวะงานจริงซึ่งเป็นภาวะพลวัต ประมาณร้อยละ 40 (Freivalds et al., 1984)

นักวิจัยหลายท่านจึงได้ศึกษาชีวกลศาสตร์ในสภาวะพลวัต โดยมีการบันทึกตำแหน่งของข้อต่อขณะที่มีการเคลื่อนไหว ซึ่งจะให้สภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริง และสามารถประเมินแรงที่เกิดขึ้นได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่าการคำนวณชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิต อย่างไรก็ตามการคำนวณชีวกลศาสตร์ในสภาวะพลวัตนี้ยังไม่แพร่หลายในการนำไปศึกษาในสถานประกอบการหรือในการทำงานจริงนักก็เนื่องจากข้อกำหนดในด้านเวลาและเครื่องมือที่ต้องใช้มากขึ้น (Potvin et al., 1992)

1.1 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในสภาวะสถิต

การคำนวณหาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังบริเวณสะโพกนั้น พบว่ามีกล้ามเนื้อและแรงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด ได้แก่

- กล้ามเนื้อ Erector spinae ทำหน้าที่พยุงลำตัวขณะยกของซึ่งสามารถตรวจสอบได้โดย Electromyography (EMG) (Schultz และคณะ, 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

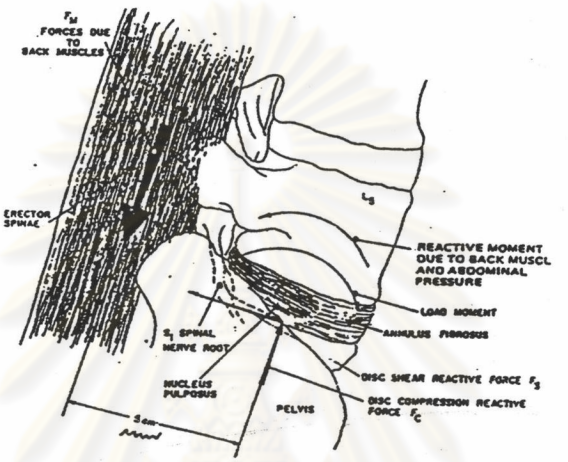
- กล้ามเนื้อ Rectus abdominis นักวิจัยหลายท่านกล่าวว่ากล้ามเนื้อนี้ไม่ได้ทำงานในขณะทำการยก แต่อย่างไรก็ตามพบว่าในบุคคลที่มีรูปร่างสูงและยกของที่หนักๆ กล้ามเนื้อนี้จะทำงานบ้าง (Morris, Lucus, and Bressler, 1961)

- แรงที่เกิดจากความดันในช่องท้องซึ่งจะต้านโมเมนต์ที่มากระทำต่อกระดูกสันหลัง คำนวณได้จากผลคูณของ ค่าความดันในช่องท้อง (Pa) กับ พื้นที่หน้าตัดของช่องท้อง (P)

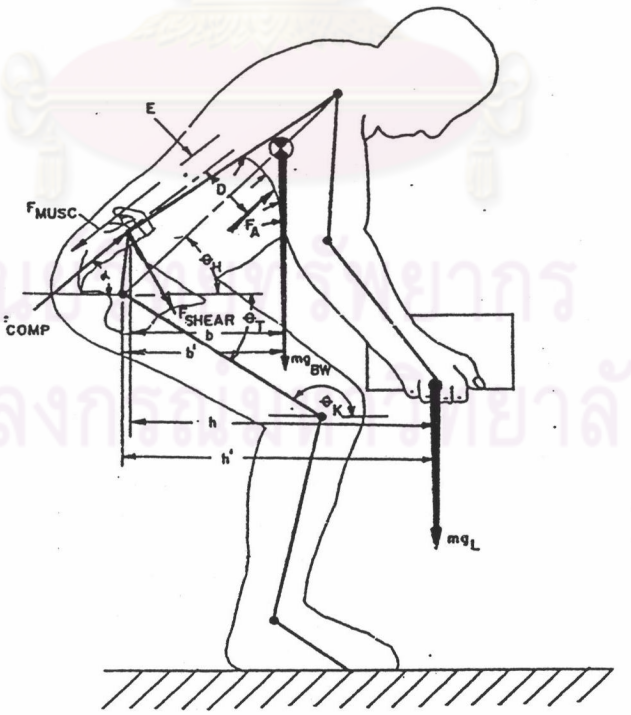
สำหรับค่า Pa ในการยกท่าหลังงอ-เข่าตรง (Stooped) นั้นมีค่าเท่ากับ 100 mm.Hg. ส่วนการยกในท่าหลังตรง-เข่างอนั้น Pa มีค่าเท่ากับ 40 mm.Hg. ในขณะที่การยืนตรงจะไม่ทำให้เกิดความดันในช่องท้อง (Roozbazar, 1975) อย่างไรก็ตาม Fisher (1967) ได้เสนอการคำนวณหา Pa ในรูปความสัมพันธ์ของโมเมนต์ที่กระทำต่อสะโพก ($M_H$) มุมของสะโพกและต้นขาเมื่อเทียบกับแนวดิ่ง ($Q'_H$ ,$Q'_T$) ดังนี้

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

ส่วนพื้นที่หน้าตัดของช่องท้องนั้น นักวิจัยหลายท่านได้กำหนดค่าที่ต่างกันไปอาทิ Morrisus et al. (1961) กล่าวว่าพื้นที่หน้าตัดช่องท้องนั้นมีค่าประมาณ 465 ตารางเซนติเมตร ในขณะที่ Eie & When (1962) ประมาณพื้นที่หน้าตัดช่องท้องโดยเฉลี่ย 483 ตารางเซนติเมตร




**รูปที่ 1.** แรงทั้งหมดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังที่เกิดจากงานยกของ; ที่มา Chaffin (1984)




**รูปที่ 2.** แรงและโมเมนต์บนกระดูกสันหลัง ที่มา Chaffin (1984)

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

- แรงที่เกิดจากน้ำหนักที่ทำการยก

Chaffin & Gunnar (1984) ได้อ้างถึงการคำนวณชีวกลศาสตร์ในงานยกของในภาวะสถิตระนาบหน้า-หลัง (Sagittal-plane) ของ Morris, Lucus และ Bresser (1961) ซึ่งได้มีการคำนวณแรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังและโมเมนต์ที่เกิดบริเวณ L5/S1 จากการยกของ ดังนั้นจากการสมดุลโมเมนต์ ณ. จุด L5/S1

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

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

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

: โดยที่ $F_M$ เป็นแรงของกล้ามเนื้อ Erector spinae ที่ทำหน้าที่พยุงลำตัวขณะยกของ

: b และ h เป็นระยะทางในแนวราบจากสะโพกถึงจุดศูนย์กลางของลำตัว และจุดศูนย์กลางของภาระงาน

: E เป็นระยะทางจากกล้ามเนื้อ Erector spinae มายัง L5/S1

: D เป็นระยะทางจากจุดศูนย์กลางของแรงดันช่องท้องมายัง L5/S1 ประมาณ 11 เซนติเมตร

: $F_A$ เป็นแรงดันภายในช่องท้องคำนวณจาก Pa * A

: $mg_{load}$ เท่ากับน้ำหนักของภาระงานที่ถือในมือ

: $mg_{bw}$ เท่ากับน้ำหนักของร่างกายส่วนที่อยู่เหนือจาก L5/S1

และจากสมดุล

$$\Sigma F_{แรงกด} = 0 \quad \text{(4)}$$

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

จากสมการ (3) และ (5) สามารถคำนวณหา $F_C$ ได้

1.2 การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต

การคำนวณในภาวะพลวัตเป็นการพิจารณาผลจากการเคลื่อนไหวของร่างกายเข้ามาร่วมด้วย เพื่อให้ใกล้เคียงกับสภาวะการทำงานจริงซึ่งต้องพิจารณาถึงโมเมนต์ของแรงเฉื่อยและแรงซึ่งเกิดจากความเร่งเชิงมุมเข้ามาร่วมด้วย ผลรวมของโมเมนต์จึงเขียนได้ดังนี้

$F_c = mr\theta'$

$M_j = M_{Static} + M_{Dynamic\ tangential} + M_{dynamic\ rotational}$

$M_j = M_{Static} + mr\theta'' + I_{cm}\theta''$

กำหนดให้ $I_j = I_{cm} + mr^2$

$\theta''$ เป็นความเร่งเชิงมุม

$\theta'$ เป็นความเร็วเชิงมุม

K เป็นรัศมีไจเรชัน

อย่างไรก็ตามพบว่าการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัตนี้มีความยุ่งยากในการคำนวณและต้องใช้เครื่องมืออุปกรณ์ที่จำเป็นอีกหลายอย่างในการทดลองซึ่งในงานวิจัยนี้ยังไม่พร้อมที่จะทำการทดลองเพื่อการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในภาวะพลวัต

## 2. <u>การกำหนดขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้โดยเกณฑ์ของชีวกลศาสตร์</u>

แนวทางศึกษาถึงน้ำหนักที่ยอมรับได้ในการยกของโดยวิธีชีวกลศาสตร์คือการเปรียบเทียบภาระงานที่คำนวณได้ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังกับเกณฑ์ที่ได้มีผู้วิจัยได้เคยกำหนดไว้ ซึ่งเกณฑ์ทางชีวกลศาสตร์นี้ ส่วนใหญ่จะกำหนดเป็นแรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลัง

วิธีหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาแรงกดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังก็คือการศึกษาจากศพโดยการนำกระดูกสันหลังของผู้ตาย ซึ่งเก็บรักษาภายใต้ความเย็น 4 องศาเซลเซียส และได้รับการตรวจสอบจากแพทย์แล้วว่าไม่มีปัญหาการแตกร้าวหรือรอยชำรุดมาก่อน กระดูกสันหลังที่ได้มานี้จะนำไปทดสอบความสามารถสูงสุดในการรับแรงกดนั้น โดยการเพิ่มภาระงานให้กับชิ้นส่วนกระดูกจนกระทั่งกระดูกเกิดการเสียรูป ทั้งนี้ในขณะทดลองจะต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ 100% อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับภายในร่างกายมนุษย์ (Brickmann, Biggemann and Hilweg, 1989) ค่าภาระงานสุดท้ายที่อ่านได้นี้จะเป็นค่า Compressive strength ของกระดูกสันหลัง

จากภาระงานที่เพิ่มให้กับชิ้นส่วนกระดูกในขณะทำการทดลองหาค่า 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 Compress Strength) ด้วยค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 (Hansson, Roos and Nachemson, 1980)

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

ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของค่า Compressive Strength ในรูปของลักษณะจำเพาะของบุคคล จึงสามารถใช้ความสัมพันธ์นี้หา Compressive Strength ของบุคคลที่ยังมีชีวิตอยู่ได้ โดยผ่านทางลักษณะข้อมูลของกระดูกสันหลังของบุคคลนั้น ๆ ที่ได้จาก DPA หรือ QCT ซึ่ง Erikson, Isberg and Lindgren (1989) หาค่าสหสัมพันธ์ของ Compressive Strength กับข้อมูลลักษณะจำเพาะของกระดูกที่ได้จากวิธี DPA และวิธี QCT ได้ค่าสหสัมพันธ์ 0.80 และ 0.74 ตามลำดับ โดยมีค่าพยากรณ์ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SSE) น้อยกว่า 1 KN. ซึ่งกล่าวได้ว่าทั้ง DPA และ QCT เป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องแม่นยำยอมรับได้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับลักษณะจำเพาะของบุคคลนั้นได้มีนักวิจัยหลายท่านทำการทดลองและสร้างความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ขึ้นเป็นฟังก์ชันของ อายุ เพศ (เพศชาย = 1, เพศหญิง = 2) น้ำหนักร่างกาย และค่าจำเพาะของกระดูกสันหลังแต่ละชิ้น (Spinal component; SC)

จากแนวคิดเรื่องการหา Compressive Strength ข้างต้นซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้เมื่อมีภาระงานมากระทำ ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการป้องกันอันตรายอันจะเกิดกับกระดูกสันหลังจากภาระงานที่มากระทำ จึงมีการเสนอค่าภาระงานสูงสุดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังในระดับที่สามารถยอมรับได้ (Maximum Acceptable Load; MAL) ซึ่งจากการศึกษาของ Eie (1966) พบว่าค่า MAL จะอยู่ในช่วงร้อยละ 33 ถึง ร้อยละ 93 ของค่า Compressive Strength โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 60 ของค่า Compressive Strength ในขณะที่ Yogonandan et al. (1989) กล่าวว่าค่า MAL ของคนปกติมีค่าประมาณร้อยละ 83 ของ Compressive Stength

Genaidy et al. (1993) กำหนดค่า MAL = -805.18 + (0.74554*CS) เมื่อทำารตรวจสอบพบว่าค่า MAL ที่ได้อยู่ประมาณร้อยละ 64 ของCompressive strength ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Eie

**ตารางที่ 2.1** ค่า Compressive Strength ที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำการวิจัยไว้

| นักวิจัย | สมการประมาณค่า CS (นิวตัน) จากกระดูกสันหลังที่ได้จากศพ |
|---|---|
| Sonoda (1962) | CS = 6421.3 + (374.3*SC#) |
| Guzulov et al. (1966) | CS = 6218.1 + (783.0* SC) |
| Hutton et al. (1979) | CS = 8567.4 - (72.0*อายุ) - (3276.9*เพศ) + (374.0*SC) |
| Messerer (1880) | CS = 1908.3 + (299.7*SC) |
| Hutton & Adams (1982) | CS = 18512-(29.3*อายุ)-(3215.5*เพศ)+(539.9*SC)+(97.0*น้ำหนักร่างกาย) |
| Adams & Hutton (1982) | CS = -7308.4-(69.8*อายุ)-(140.7*เพศ)+(280.2*SC)+(42.4*น้ำหนักร่างกาย) |
| Hansson et al. (1987) | CS = -13557.0-(63.1*อายุ)-(454 4*เพศ)+(404.2*SC)+(54.5*น้ำหนักร่างกาย) |
| Brinkmann et al. (1988) | CS = -2894.9 - (64.8*อายุ) - (1018.0*เพศ) + (284.7*SC) |
| Biggemann et al. (1988) | CS = 5719.6 - (53.1*อายุ) - (1722.1*เพศ) + (312.1*SC) |
| Jager & Luttmann (1992) | CS = 10.53 - 0.975(อายุ/10) x $10^3$ สำหรับเพศชาย<br>CS = 7.03 - 0.591(อายุ/10) x $10^3$ สำหรับเพศหญิง |
| Genaidy et al. (1993) | CS = 7222.41-(1047.71*ช่วงอายุ*)-(1279.18*เพศ)+(56.73*เปอร์เซ็นต์ไทล์ประชากร) |

**หมายเหตุ**

# ค่า SC ของกระดูกแต่ละชิ้น : C1=1 C2=2 C3=3 C4=4 C5=5 C7=7 T1=8 T2=9 T3=10 T4=11 T5=5 T6=6 T7=7 T8=8 T9=9 T10=10 T12=12 L1=13 L2=14 L3=15 L4=16 L5=17 T12/L1=43 L1/L2=44 L2/L3=45 L3/L4=46 L4/L5=47 L5/S1=48

* ช่วงอายุ 20-29, 30-39, 40-49 และมากกว่า 50 ปี มีค่าเป็นตัวเลขเชิงคุณภาพ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

อย่างไรก็ตามวิธีการกำหนด MAL ที่กระทำต่อกระดูกสันหลังจากค่า Compressive Strength (CS) ดังกล่าวนั้นมีข้อจำกัดอย่างมากในการทดลอง เนื่องจากจะต้องทดลองโดยวิธีทางการแพทย์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองก็มีราคาสูงเป็นอย่างมาก รวมถึงข้อจำกัดของศพที่นำมาทดสอบหาค่าความแข็งแรงของกระดูกสันหลัง ในงานวิจัยนี้จึงไม่อาจทำการทดลองในแนวทางดังกล่าวได้ เพียงแต่นำสมการประมาณค่า MAL ที่นักวิจัยท่านอื่นได้ทำไว้มาใช้ประโยชน์ในการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกับภาระงานที่เกิดขึ้นกับกระดูกสันหลังอันเนื่องมาจากงานยกของที่คำนวณได้ตามสมการชีวกลศาสตร์

จากแนวทางทั้งสามคือ ชีวกลศาสตร์ จิตฟิสิกส์ และการตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงาน Garg & Herrin (1979) กล่าวถึงข้อแตกต่างของแต่ละแนวทางไว้ว่า ชีวกลศาสตร์มุ่งที่

จะลดภาระงานในการยกแต่ละครั้งเพื่อลดแรงที่กระทำต่อกระดูกสันหลังโดยยอมที่จะเพิ่มความถี่ของการยกมากขึ้น ในขณะที่แนวทางสรีรวิทยาในการทำงานมุ่งที่จะลดความถี่ของการยกเพื่อลดพลังงานที่ใช้ในเมตาบอลิซึมส์โดยยอมที่จะเพิ่มภาระงานในการยกแต่ละครั้งให้มากขึ้น ดังนั้นลักษณะงานจึงต่างกันในแนวทางทั้งสอง

Asfour (1980) ศึกษางานยกของโดยแนวทางสรีวิทยาในการทำงานและแนวทางจิตฟิสิกส์ สำหรับงานยกของที่ความถี่การยก 3 6 และ 9 ครั้งต่อนาที ซึ่งพบว่าที่ความถี่การยกสูงทั้งสองแนวทางให้ผลที่สอดคล้องกัน ในขณะที่ความถี่การยกต่ำนั้นพบว่าทั้งสองแนวทางให้ผลที่แตกต่างกันโดยที่ MAW ที่ได้จากแนวทางสรีรวิทยาในการทำงานจะมีค่าสูงกว่า MAW ที่ได้จากแนวทางจิตฟิสิกส์ค่อนข้างมาก Asfour ได้อธิบายว่าเนื่องจากขีดจำกัดของร่างกายที่มีผลต่อการยกของที่สำคัญมีสองประการคือความแข็งแรงของกล้ามเนื้อและความทนทานทางสรีรวิทยา ซึ่งในการยกที่ความถี่การยกต่ำนั้นเป็นสภาพงานที่มีความเป็นภาระงานแบบสถิตมากกว่า ดังนั้นความแข็งแรงของกล้ามเนื้อจึงมีผลในการจำกัดขีดความสามารถของร่างกายในการยกมากกว่าความทนทานทางสรีรวิทยา เป็นผลให้ค่า MAW ที่ได้จากแนวทางจิตฟิสิกส์มีค่าน้อยกว่าค่า MAW ที่ได้จากแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงาน ดังนั้น Asfour จึงเสนอว่าสำหรับความถี่การยก 3 ครั้งต่อนาที ซึ่งเป็นความถี่การยกต่ำนั้นควรกำหนดเกณฑ์การยกสำหรับแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงานไว้ต่ำกว่าการยกที่ความถี่สูง ซึ่ง Asfour ได้ใช้ค่าอัตราการใช้ออกซิเจน 1 ลิตรต่อนาที เป็นเกณฑ์ความปลอดภัยสำหรับการยกของที่ความถี่ 6 และ 9 ครั้งต่อนาที ส่วนการยกที่ความถี่การยก 3 ครั้งต่อนาทีนั้น Asfour ได้เสนอให้ใช้ค่าอัตราการใช้ออกซิเจน 0.5 ลิตรต่อนาทีเป็นเกณฑ์ความปลอดภัย

ดังนั้นจากความแตกต่างกันในแนวทางต่างๆ ที่ศึกษาเกี่ยวกับงานยกของ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างชีวกลศาสตร์และจิตฟิสิกส์ และระหว่างแนวทางการตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงานและจิตฟิสิกส์จึงพบว่าที่ความถี่ของการยกต่ำๆ MAW ที่ได้จากแนวทางจิตฟิสิกส์จะสูงกว่าขีดจำกัดสูงสุดของภาระงานที่ยอมรับได้ที่ได้จากแนวทางชีวกลศาสตร์และมีค่าสูงกว่าขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ที่ได้จากแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงาน

จากความแตกต่างระหว่างแนวทางชีวกลศาสตร์และแนวทางสรีรวิทยาในการทำงานดังกล่าว Karwowski (1982) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่า การพิจารณารวมแนวทางชีวกลศาสตร์เข้ากับแนวทางจิตวิยาในการทำงานจะเป็นการรวมผลกระทบของลักษณะที่แตกต่างกันที่มีต่อบุคคล และบุคคลจะตอบสนองต่อผลกระทบนี้ออกมาในรูปของการตอบสนองเชิงจิตฟิสิกส์ใน

การเลือกนน้ำหนัก MAW ที่เขาพึงพอใจที่จะยก Karwowski ได้ประยุกต์ทฤษฎี Fuzzy Set ในการทดสอบสมมติฐานดังกล่าวและพบว่าผลรวมของค่า Membership Function ของแนวทางชีวกลศาสตร์และการตอบสนองทางสรีรวิทยาในการทำงานมีค่าสอดคล้องใกล้เคียงกับค่า Membership Function ที่ได้จากแนวทางจิตฟิสิกส์เป็นไปตามสมมติฐานที่ได้ตั้งไว้ ซึ่งสมมติฐานนี้ได้รับการทดลองยืนยันโดย Ayoub และ Hafez (1986) ที่ได้ศึกษา Combine Stress ซึ่งเกิดจากการรวมกันของ Membersip Function ของ Heat Stress ชีวกลศาสตร์ และจิตวิทยาในการทำงานโดยใช้ทฤษฎี Fuzzy Set เพื่อเปรียบเทียบกับ Membership Function ที่ได้จากจิตฟิสิกส์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน และสามารถกล่าวได้ว่า Combine Stress แสดงได้ในรูปของตัวแปรเชิงจิตฟิสิกส์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย