

บทที่ 4 ผลการทดลอง

ลักษณะของภาระงานและสภาวะแวดล้อม

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาของงานยกของในระนาบหน้า-หลังโดยที่ไม่มีการเอี้ยวตัว ในการทดลองผู้ถูกทดสอบทุกคนจะต้องทำการยกกล่องขนาดกว้าง 15 นิ้ว ยาว 15 นิ้ว และสูง 10 นิ้วซึ่งทำด้วยไม้และมีหูจับอยู่ด้านข้างสองด้าน ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะยกด้วยท่าที่ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนพึงพอใจในลักษณะภาระงานที่กำหนดโดยปัจจัยสามปัจจัยคือ ความถี่การยก (3 ครั้ง ต่อนาทีและ 6 ครั้งต่อนาที) ความสูงของการยก (75 เซนติเมตร และ 125 เซนติเมตร) และ น้ำหนักของภาระงานที่ยก (5 กก. 12 กก. และ 25 กก.) ในแต่ละลักษณะภาระงานผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะทำซ้ำสองครั้ง ในการทดสอบแต่ละครั้งผู้ถูกทดสอบจะต้องทำการยกต่อเนื่องตามลักษณะภาระงานที่ได้กำหนดไว้จนกระทั่งค่าของอัตราการเต้นของหัวใจและค่าอัตราการใช้ออกซิเจนเข้าสู่สภาวะคงตัว หลังจากนั้นผู้ถูกทดสอบจะต้องทำการยกต่อไปอีก 10 นาทีเพื่อทำการบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตามหากผู้ถูกทดสอบไม่สามารถยกได้ในระยะเวลาดังกล่าว ผู้ถูกทดสอบสามารถที่จะหยุดก่อนกำหนดเวลาได้ทั้งนี้เพื่อป้องกันอันตรายอันอาจเกิดจากการทำงานเกินความสามารถ

การวิจัยนี้ได้ทำการทดลองในโรงประลองของภาควิชาเทคโนโลยีชนถ่ายวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลสภาวะแวดล้อมของการวิจัย

สภาวะแวดล้อม	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (°C)	30.89	1.85
อุณหภูมิกระเปาะเปียก (°C)	24.12	1.84
ความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	58.00	10.63

รายละเอียดของผู้ถูกทดสอบ

งานวิจัยนี้มีผู้ถูกทดสอบซึ่งเป็นนักศึกษาและเจ้าหน้าที่ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จำนวนทั้งสิ้น 8 คน มีอายุระหว่าง 21 ถึง 36 ปี มีค่าเฉลี่ย 26 ปี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 4.30 ปี โดยผู้ถูกทดสอบทุกคนมีสุขภาพแข็งแรงเป็นปกติ ทั้งนี้พิจารณาจากความดันโลหิตและอัตราการเต้นของหัวใจขณะนั่งพักเป็นเกณฑ์ รวมทั้งไม่ได้เป็นผู้ที่มีอาการบาดเจ็บหรือเคยได้รับอาการบาดเจ็บบริเวณหลังมาก่อน

1. การวิเคราะห์ค่าความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน

ผู้ถูกทดสอบทุกคนจะได้รับการทดสอบวัดค่าความสามารถสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ($VO_2\max$) โดยการใช้วิธีโดยอ้อมที่เสนอโดย Kamon & Ayoub (1976) ผู้ถูกทดสอบจะต้องทำการปั่นจักรยานที่ระดับภาระงานต่างๆ อัตราการเต้นของหัวใจ (HR) และอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) จะถูกนำมาหาค่าสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear regression) เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของ HR และ VO_2 ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง

$$HR = A * (VO_2) + B$$

โดยที่ HR คือ อัตราการเต้นของหัวใจ

VO_2 คือ อัตราการใช้ออกซิเจน

A คือ สัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงเส้น

B คือ ค่าคงที่ที่ได้จากการหาสมการถดถอย

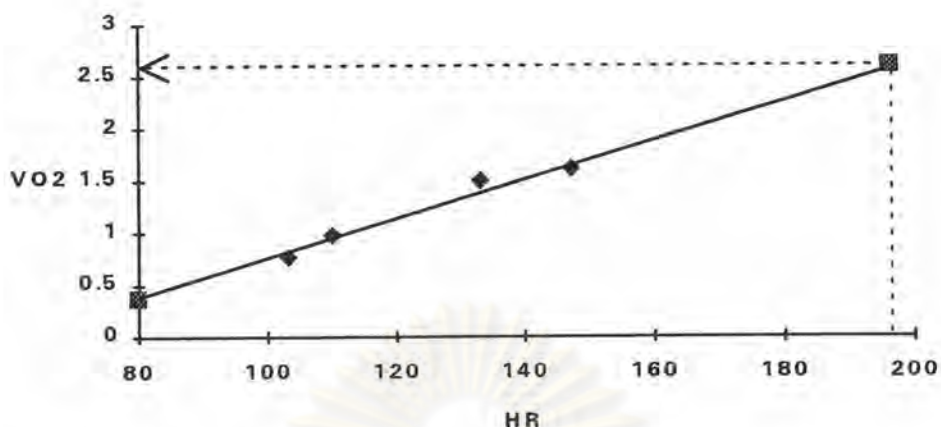
ดังนั้นเมื่อทราบค่าอัตราการเต้นหัวใจสูงสุดซึ่งหาได้จาก (220-อายุ) ก็สามารถแทนค่า HR ด้วย (220-อายุ) ในสมการถดถอยเชิงเส้นดังกล่าวเพื่อหาอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด ($VO_2\max$) ดังตัวอย่างของการหาค่า $VO_2\max$ ของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 7 จากการหาสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายพบว่าได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจและอัตราการใช้ออกซิเจนดังนี้

$$HR = 60.138 + 52.033 * (VO_2) \quad \text{โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ } R = 0.9895$$

$$\text{ดังนั้น } VO_2\max = [(220-\text{อายุ}) - 60.138] / 52.033$$

$$= (196 - 60.138) / 52.033$$

$$= 2.611 \text{ ลิตรต่อนาที (50.21 มล. / กก.-นาที)}$$



รูปที่ 4.1 การหาค่าอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุดโดยการหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นหัวใจที่สภาวะคงตัวแต่ละระดับความหนักของภาระงาน

จากการทดสอบผู้ถูกทดสอบทั้ง 8 คนพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่า $VO_2\max$ อยู่ระหว่าง 40.14 ลิตร/นาที ถึง 61.53 ลิตร/นาที และเมื่อพิจารณาตามเกณฑ์ของ Kamom และ Ayoub ที่กล่าวว่าบุคคลที่มี $VO_2\max < 25$ 25-33 34-42 43-52 และ > 53 มล./ก.ก.-นาที เป็นผู้ที่มีความสามารถในการใช้ออกซิเจนอยู่ในระดับต่ำ พอใช้ ปกติ ดี และสูงตามลำดับแล้วสามารถจำแนกได้ว่าผู้ถูกทดสอบเป็นผู้ที่มีความสามารถใช้ออกซิเจนอยู่ในระดับปกติ 1 คน ระดับดี 4 คน และระดับสูง 3 คน

ตารางที่ 4.2 ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด

ผู้ถูกทดสอบ	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (ก.ก.)	สูง (ซม.)	$VO_2\max$ (ลิตร/นาที)	$VO_2\max$ (มล./ก.ก.-นาที)
1	36	75	158.7	3.010	40.14
2	21	60	174.0	2.640	44.00
3	25	72	185.3	3.845	53.40
4	25	58	165.1	3.288	56.68
5	24	62	169.0	2.851	45.98
6	24	63	172.7	3.876	61.53
7	24	52	170.4	2.611	50.21
8	29	67	162.6	3.140	46.87

ตารางที่ 4.2 ค่าความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุด (ต่อ)

(ต่อ)	อายุ (ปี)	น้ำหนัก (ก.ก.)	สูง (ซม.)	VO ₂ max (ลิตร/นาที)	VO ₂ max (มล./ ก.ก.-นาที)
ค่าเฉลี่ย	26	63.63	169.7 2	3.158	49.85
ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	4.30	7.02	8.14	0.459	6.597

2. การทดสอบกำลังสติของกล้ามเนื้อ

ผู้ถูกทดสอบทุกคนได้รับการทดสอบหากล้ามเนื้อแขน ขา หลัง ไหล่ มือ และกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ (Composite) ค่ากำลังสติของกล้ามเนื้อที่ได้แสดงให้เห็นว่าผู้ถูกทดสอบทุกคนมีร่างกายแข็งแรงเป็นปกติและไม่เป็นผู้ที่มีปัญหาเกี่ยวกับกล้ามเนื้อมาก่อน

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังสติของกล้ามเนื้อของผู้ถูกทดสอบทุกคน

ผู้ถูกทดสอบ หมายเลข	กำลังสติของกล้ามเนื้อ					
	หลัง	แขน	ขา	ไหล่	มือ	ส่วนต่างๆ
1	84.7	43.1	91.2	60.2	46.0	90.2
2	91.0	32.0	135.3	55.1	45.0	134.4
3	112.7	48.1	131.6	88.2	44.0	129.0
4	75.9	33.3	99.0	28.4	29.0	97.0
5	59.7	31.7	107.8	54.4	34.0	68.2
6	96.6	41.2	131.8	52.4	44.0	96.4
7	58.9	38.7	108.9	37.6	38.0	91.9
8	64.7	20.3	109.3	64.3	33.0	93.0
ค่าเฉลี่ย	82.9	36.1	114.4	54.9	38.9	100.0
S.D.	18.8	8.6	16.5	18.3	6.3	21.6

จากการทดสอบกำลังสถิติของผู้ถูกทดสอบทุกคนในงานนี้เปรียบเทียบกับค่ากำลังสถิติของกลุ่มประชากรอาชีพกสิกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยที่ศึกษาโดย กิตติ อินทรานนท์ และคณะ (2531) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของกำลังสถิติของกล้ามเนื้อหลังและกล้ามเนื้อไหล่ของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าของกลุ่มประชากรอาชีพกสิกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ในขณะที่กำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อขาและกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้มีค่าน้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตามค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อแขน กล้ามเนื้อขา และกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้โดยเฉลี่ยแล้วพบว่าอยู่ในช่วงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึงเปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 95 ของกลุ่มประชากรกสิกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ส่วนกำลังสถิติของกล้ามเนื้อมีค่าใกล้เคียงกัน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่คาดหมายว่าผู้ถูกทดสอบทั้งหมดเป็นผู้ที่มีค่ากำลังสถิติของกล้ามเนื้อไม่ต่างไปจากผู้ที่อยู่ในกลุ่มประชากรอาชีพอุตสาหกรรมมากนัก

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

กลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ					ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้	
กำลังสถิติ	อายุ	เฉลี่ย	พิสัย	เปอร์เซ็นต์ไคล์ที่ 5 ถึง 95	เฉลี่ย	พิสัย
หลัง	17-24	69.80	47.00-98.00	50.72-84.66	76.55	58.9-96.6
	25-32	69.69	35.50-98.33	46.46-87.79	85.86	64.7-112.7
	33-40	72.58	49.00-104.67	48.51-91.33	84.70	84.7-84.7
แขน	17-24	37.45	27.00-59.33	27.71-45.04	35.90	31.7-41.2
	25-32	41.64	29.00-51.00	32.43-48.82	33.90	20.3-48.1
	33-40	42.89	31.00-54.33	33.53-50.18	48.20	48.2-48.2

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังสถิติเปรียบเทียบระหว่างผู้ถูกทดสอบกับประชากรภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย (ต่อ)

กลุ่มประชากรภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ					ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้	
กำลังสถิติ	อายุ	เฉลี่ย	พิสัย	เปอร์เซ็นต์ไคสกีที่ 5 ถึง 95	เฉลี่ย	พิสัย
ขา	17-24	116.09	84.67-161.67	91.28-135.42	120.90	107.8-131.8
	25-32	123.71	87.83-185.33	95.28-145.86	108.76	99.0-131.6
	33-40	127.00	88.00-190.00	90.12-155.74	91.20	91.2-91.2
ไหล่	17-24	38.49	23.33-77.33	23.93-49.83	64.35	37.6-55.1
	25-32	42.53	23.00-61.00	26.41-55.09	59.67	28.4-88.2
	33-40	46.65	24.67-70.67	28.61-60.70	60.20	60.2-60.2
มือ	17-24	39.64	28.00-57.33	30.31-46.91	40.25	34.0-45.0
	25-32	42.83	33.18-59.16	33.18-50.35	35.33	29.0-44.0
	33-40	41.98	31.00-52.66	33.25-48.78	46.00	46.0-46.0
ส่วนต่างๆ	17-24	116.06	78.33-164.00	91.42-135.26	121.80	68.2-134.4
	25.32	121.28	80.33-166.00	88.20-147.06	106.17	93.0-97.0
	33-40	125.35	90.33-174.33	92.62-150.85	90.20	90.2-90.2

ผลการทดลองแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา (Physiological Approach)

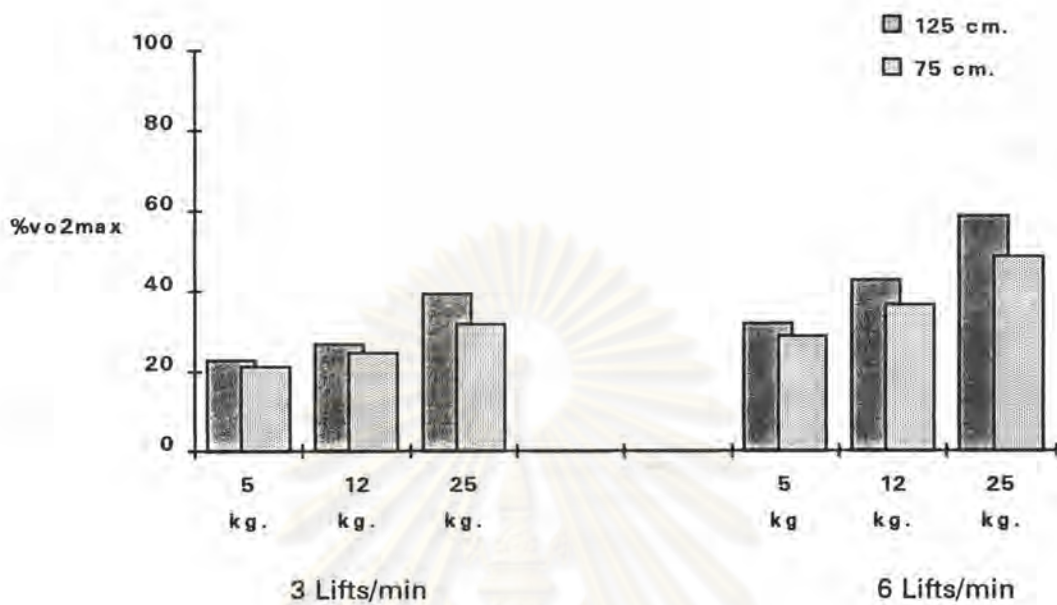
ในการทดลองวิจัยนี้มีปัจจัยที่ทำการศึกษทั้งสิ้น 3 ปัจจัย คือ น้ำหนักของภาระงาน (5 12 25 กิโลกรัม) ความถี่ของการยก (3 และ 6 ครั้งต่อนาที) ความสูงของการยก (75 และ 125 เซนติเมตรจากระดับพื้น) จำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 2 ดังนั้นโดยแนวทางการใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยาเป็นเกณฑ์นี้ ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำการทดลองทั้งสิ้น 24 การทดลอง ใน 12 ลักษณะงาน ซึ่งข้อมูลการทดลองของผู้ถูกทดสอบแยกรายบุคคลแสดงไว้ในภาคผนวก จ.1 และ ข้อมูลจากผู้ถูกทดสอบทั้ง 8 คนจะถูกนำมาเฉลี่ยและแสดงได้ดังต่อไปนี้

1. ผลของอัตราการใช้ออกซิเจน (VO_2) ที่ได้จากการยกที่ระดับปัจจัยต่างๆ

ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนที่ได้จากการยกที่ระดับปัจจัยต่างๆ ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่า VO_{2max} ของผู้ถูกทดสอบนั้นๆ เพื่อคิดเป็นค่า $\%VO_{2max}$ ของการยกที่แต่ละระดับปัจจัยต่างๆ ซึ่งการยกที่แต่ละระดับปัจจัยต่างๆ นั้น ผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำซ้ำการทดลองสองครั้งเพื่อลดความผิดพลาดอันอาจเกิดขึ้นได้ ข้อมูลของผู้ถูกทดสอบทุกคนจะถูกนำมาเฉลี่ยดังแสดงผลการทดลองต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 ค่า $\%VO_{2max}$ ที่ได้จากการทดลอง

	% VO_{2max} เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที		ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที	
	75 ชม.	125 ชม.	75 ชม.	125 ชม.
5 ก.ก.	21.153 (3.509)	22.819 (4.207)	28.724 (5.607)	31.868 (5.482)
12 ก.ก.	24.495 (4.433)	26.838 (5.359)	36.470 (7.742)	42.766 (9.135)
25 ก.ก.	31.724 (4.382)	39.437 (7.410)	48.615 (9.719)	58.606 (14.343)



รูปที่ 4.2 ค่า %VO₂max ที่ได้จากการทดลอง

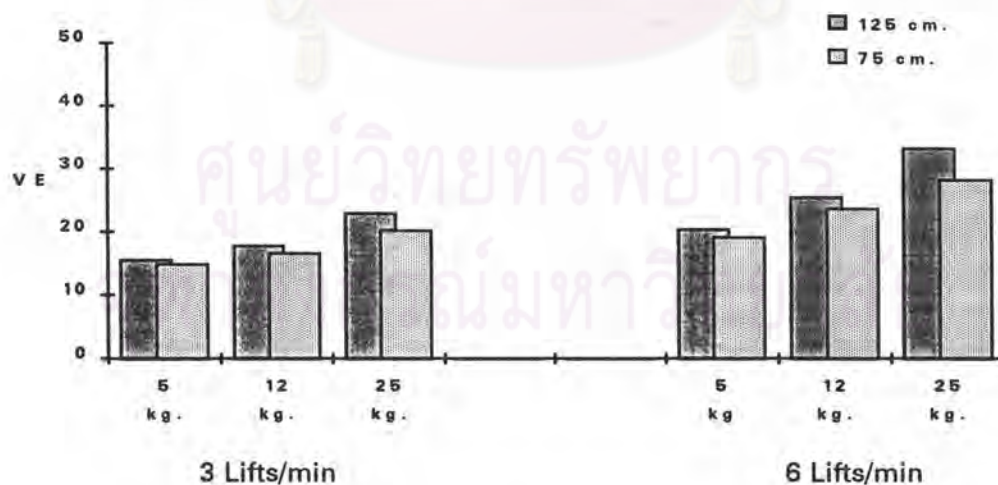
ผลของ %VO₂max พบว่าสำหรับที่น้ำหนักภาระงานน้อยๆ ความสูงของการยกจะมีผลต่อค่า %VO₂max ไม่มากนัก ในขณะที่น้ำหนักภาระงานมาก ความสูงของการยกจะมีผลต่อค่า %VO₂max มากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการยกที่น้ำหนักภาระงานมากในความสูงการยก 125 ซม.จากระดับพื้นนั้น ผู้ถูกทดสอบบางคนที่ไม่สามารถใช้กำลังแขนแต่เพียงลำพังในการยกได้ จำเป็นต้องใช้ลำตัวและกล้ามเนื้อส่วนอื่นช่วยพยุงกล่องในการยกแต่ละครั้ง เป็นผลให้ค่า %VO₂max มีค่าสูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้ พบว่าสำหรับการยกที่ระดับปัจจัยสูงๆ นั้นจะมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างกันของสภาพร่างกายและรูปร่างของผู้ถูกทดสอบแต่ละคน โดยมีแนวโน้มว่าสำหรับผู้ถูกทดสอบที่มีสภาพกล้ามเนื้อแขนที่แข็งแรงน้อยกว่าหรือมีส่วนสูงน้อยกว่าจะต้องใช้กล้ามเนื้อส่วนอื่นออกแรงช่วยยกกล้ามเนื้อแขนในการยกในกรณีที่ยกน้ำหนักมาก รวมถึงการต้องเขย่งตัวขึ้นวางกล่องในระดับสูงในกรณีของผู้ถูกทดสอบที่มีส่วนสูงน้อย เป็นผลให้ค่า VO₂max ของผู้ถูกทดสอบคนนั้นมีค่าสูงกว่าผู้ถูกทดสอบคนอื่นๆ เป็นอย่างมาก

2. ผลของปริมาณอากาศหายใจออกต่อนาที (VE) ที่ได้จากการยกที่ระดับปัจจัยต่างๆ

ค่าเฉลี่ยปริมาณอากาศหายใจออกต่อนาที (VE) ของผู้ถูกทดสอบทุกคน พบว่ามีแนวโน้มในลักษณะเดียวกันกับ $VO_2\max$ โดยมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อระดับของปัจจัยสูงขึ้น ผลของการทดลองแสดงได้ในตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.6 ค่า VE ที่ได้จากการทดลอง

	VE เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที		ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที	
	75 ซม.	125 ซม.	75 ซม.	125 ซม.
5 ก.ก.	14.816 (1.661)	15.495 (1.667)	18.971 (3.329)	20.280 (3.072)
12 ก.ก.	16.528 (1.560)	17.664 (1.675)	23.556 (2.932)	25.360 (3.384)
25 ก.ก.	20.101 (2.415)	22.827 (2.487)	28.051 (4.441)	33.176 (5.700)



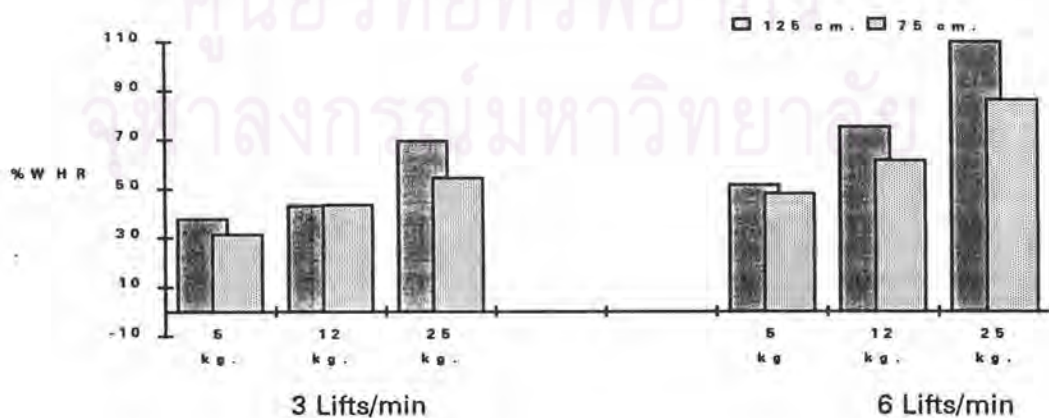
รูปที่ 4.3 ค่า VE ที่ได้จากการทดลอง

3. ผลของปัจจัยต่างๆ ในการยกของที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจ

เพื่อที่จะลดข้อผิดพลาดอันเกิดจากภาระงานทางจิตใจและภาระงานทางกายภาพที่กระทำต่อผู้ถูกทดสอบอยู่แล้วในแต่ละวันนอกเหนือไปจากภาระงานที่เกิดจากงานยกของที่ทำการศึกษาวิจัยนี้ ดังนั้นจึงพิจารณาค่าอัตราการเต้นของหัวใจจากค่าร้อยละของการเพิ่มอัตราการเต้นหัวใจในขณะทำงานเทียบกับอัตราการเต้นของหัวใจปกติขณะนั่งพัก (%WHR) ซึ่งคำนวณได้จาก (อัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงาน HRW - อัตราการเต้นของหัวใจขณะนั่งพัก HRR) / [(1/3)*(220-อายุ)] ผลของ %WHR ที่ได้พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงเส้นอย่างสูงกับ VO_2 เช่นกัน

ตารางที่ 4.7 ค่า %WHR ที่ได้จากการทดลอง

	%WHR เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที		ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที	
	75 ซม.	125 ซม.	75 ซม.	125 ซม.
5 ก.ก.	31.200 (6.377)	37.745 (9.516)	47.879 (16.077)	51.569 (14.927)
12 ก.ก.	43.608 (13.712)	43.153 (12.351)	61.427 (17.103)	75.047 (20.945)
25 ก.ก.	54.405 (16.797)	69.400 (22.822)	85.147 (28.486)	109.676 (35.387)



รูปที่ 4.4 ค่า %WHR ที่ได้จากการทดลอง

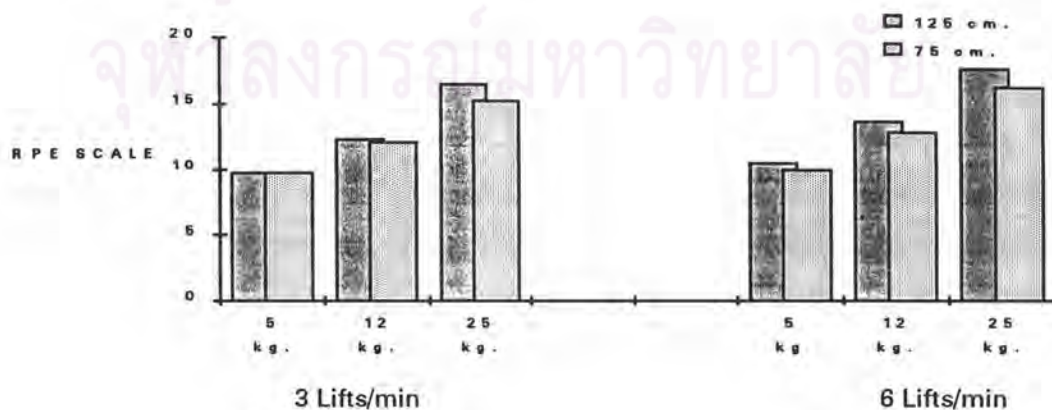


4. ผลของค่าประเมินเชิงจิตพิสัย RPE Scale ที่ได้จากการยกที่ระดับปัจจัยต่างๆ

ค่า RPE Scale เป็นค่าที่ผู้ถูกทดสอบเลือกหลังจากการทดลองแต่ละครั้งเสร็จสิ้นลง เพื่อแสดงถึงความรู้สึกของผู้ถูกทดสอบว่าการยกครั้งนั้นๆ เป็นงานที่มีลักษณะภาระงานเป็นเช่นไร โดยที่ค่า RPE SCALE มีค่าตั้งแต่ 6 ถึง 20 ที่แสดงถึงความหนักเบาของภาระงานในระดับต่างๆ จากน้อยไปยังมาก (รายละเอียดดูได้จากภาคผนวก ก.5.) ค่า RPE Scale ที่ได้จากการทดลองเป็นที่น่าสังเกตว่าขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการยกและความสูงของการยกค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับผลจากการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักที่ยก จนอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อ RPE Scale คือน้ำหนักที่ยกนั่นเอง

ตารางที่ 4.8 ค่า RPE ที่ได้จากการทดลอง

	RPE Scale เฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)			
	ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที		ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที	
	75 ซม.	125 ซม.	75 ซม.	125 ซม.
5 ก.ก.	9.750 (1.250)	9.750 (1.639)	9.938 (1.435)	10.500 (1.458)
12 ก.ก.	12.063 (0.966)	12.313 (1.158)	12.813 (1.073)	13.625 (1.317)
25 ก.ก.	15.250 (1.785)	16.500 (2.398)	16.188 (1.629)	17.625 (1.996)



รูปที่ 4.5 ค่า RPE ที่ได้จากการทดลอง

5. การวิเคราะห์ผลของปัจจัยน้ำหนักของการยก ความถี่ของการยก และความสูงของการยก ที่มีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาและความรู้สึกเชิงจิตพิสัยของผู้ถูกทดสอบ

เพื่อที่จะศึกษาถึงปัจจัยหลักของงานยกของที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ว่ามีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาหรือไม่เพียงใด งานวิจัยนี้จึงใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อตรวจสอบถึงอิทธิพลของปัจจัยเหล่านั้น ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยการตั้งสมมติฐานหลัก H_0 : ปัจจัยเหล่านั้นไม่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา

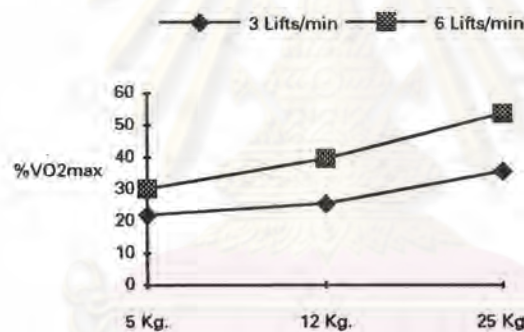
ผลของการวิเคราะห์แสดงได้ในตารางที่ ข.1 ถึง ข.12 ผลของค่าสถิติ F value ที่มากกว่าค่า Fวิกฤต ทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ผลการวิเคราะห์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าทั้งน้ำหนักของการยก ความถี่ของการยก และความสูงของการยก ล้วนมีผลต่อค่าร้อยละของอัตราการใช้ออกซิเจนเทียบกับอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ปริมาณอากาศหายใจออกต่อนาที (VE) อัตราการเพิ่มการเต้นของหัวใจ (WHR) และความรู้สึกเชิงจิตพิสัยอย่างมีนัยสำคัญ

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าความถี่ของการยกเป็นปัจจัยที่ส่งผลมากที่สุดต่อ VO_{2max} VE และ WHR ส่วนความแตกต่างของน้ำหนักของการยกนั้นจะมีผลรองลงมา ในขณะที่ความสูงของการยกนั้นจะส่งผลน้อยกว่าสองปัจจัยแรก แต่สำหรับการวิเคราะห์ผลของปัจจัยทั้งสามที่มีผลต่อการเลือกระดับความรู้สึกเชิงจิตพิสัย (RPE Scale) นั้น กลับพบว่าน้ำหนักของการยกมีผลต่อการเลือกระดับ RPE Scale มากที่สุด ในขณะที่ความถี่ของการยกจะมีผลต่อการเลือก RPE Scale ในระดับรองลงมา ในขณะที่ความสูงของการยกนั้นจะส่งผลน้อยกว่าสองปัจจัยแรกเช่นเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าในการเลือกระดับ RPE Scale นั้น ผู้ถูกทดสอบมีแนวโน้มที่จะคำนึงถึงว่าภาระงานนั้นมีผลมาจากปัจจัยน้ำหนักมากกว่าปัจจัยความถี่ของการยก

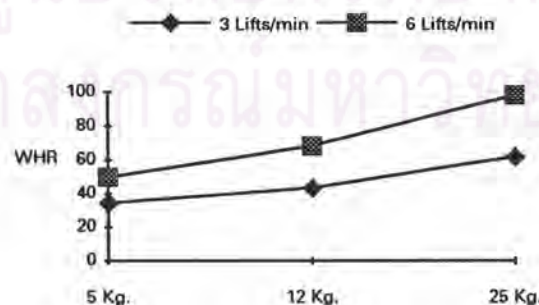
แต่จากข้อมูลการทดลองและการสอบถามผู้ถูกทดสอบ พบว่าผู้ถูกทดสอบบางคนมีอาการเหนื่อยเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเมื่อต้องทำการทดลองยกของที่มีน้ำหนักของภาระงานมากที่ความถี่สูง รวมถึงข้อมูลผลการทดลองที่ได้ก็มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นกว่าปกติเมื่อต้องทำการยกของในงานลักษณะดังกล่าว ซึ่งอาจมีความเป็นไปได้ว่านอกจากปัจจัยหลักทั้งสามดังที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นจะมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาแล้ว ยังอาจมีปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยความถี่ของการยกและปัจจัยน้ำหนักของภาระงานที่ยกส่งผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาด้วยก็เป็นได้ แต่อย่างไรก็ตามพบว่าผู้ถูกทดสอบบางคนก็ชอบที่จะยกด้วยความถี่สูง มากกว่าความถี่ต่ำแม้ว่าจะเป็นการยกที่น้ำหนักของภาระงานมากๆ ก็ตาม ทั้งนี้ด้วยเหตุผลที่ว่าการยกที่ความถี่

ต่ำๆ เช่น 3 ครั้งต่อนาทีนั้นเป็นงานที่น่าเบื่อเนื่องจากต้องรอนาน

เพื่อที่จะศึกษาถึงผลของปัจจัยร่วมจึงได้ทดสอบทางสถิติโดยตั้งสมมติฐานหลักว่า ปัจจัยร่วมของปัจจัยหลักดังกล่าวไม่มีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยา จากนั้นทำการวิเคราะห์ ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ผลของการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยร่วมระหว่างความถี่ของการยกและน้ำหนักของการยกมีค่าสถิติ F value ตกอยู่ในบริเวณปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมระหว่างความถี่ของการยกและน้ำหนักของการยกมีผลต่อ $\%VO_2\max$ และ $\%WHR$ อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลของปัจจัยร่วมที่มีต่อระดับความรู้สึกเชิงจิตพิสัย (RPE Scale) แล้วพบว่าไม่มีผลต่อระดับ RPE Scale ที่ผู้ถูกทดสอบเลือกแต่อย่างใด ซึ่งก็สอดคล้องกับความจริงที่ว่าผู้ถูกทดสอบบางคนชอบที่จะยกที่ความถี่สูงมากกว่าความถี่ต่ำแม้จะเป็นการยกที่น้ำหนักภาระงานมากก็ตามดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลของการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังกล่าวแสดงไว้ในภาคผนวก ข.



รูปที่ 4.6 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างความถี่ของการยกและน้ำหนักของการยกที่มีต่อ $\%VO_2\max$



รูปที่ 4.7 ผลของปัจจัยร่วมระหว่างความถี่ของการยกและน้ำหนักของการยกที่มีต่อ WHR

เมื่อทำการวิเคราะห์การถดถอยเชิงซ้อน (Multiple Regression Analysis) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อ $\%VO_2\max$ อันได้แก่ปัจจัยความสูงของการยก ความถี่ของการยก น้ำหนักของภาระงานที่ยก และปัจจัยร่วมระหว่างความถี่และน้ำหนักที่ยกซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนชี้ให้เห็นว่าเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จากการวิเคราะห์โดยวิธี Stepwise Regression ซึ่งแสดงได้ในภาคผนวก ข. ชี้ให้เห็นว่ารูปแบบความสัมพันธ์ที่เหมาะสมของ $\%VO_2\max$ ควรเป็นฟังก์ชันที่ประกอบไปด้วยปัจจัยความสูงของการยก ความถี่ของการยก และปัจจัยร่วมระหว่างความถี่และน้ำหนักของภาระงานที่ยกเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อควบคุมตัวแปรในสมการไม่ให้มีมากเกินไปจนความจำเป็น และเมื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงซ้อนของ $\%VO_2\max$ ที่เป็นฟังก์ชันของตัวแปรต่างๆ ดังกล่าวจะได้ว่า

$$VO_2\max = 3.9302 + 1.6775(FREQ) + 0.1038(HEIGHT) + 0.1999(FREQ * WEIGHT) \quad (R=0.8110)$$

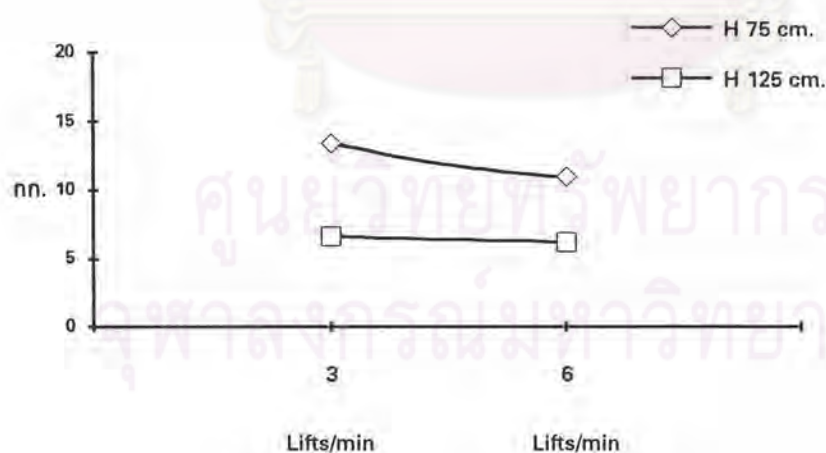
6. การกำหนดขีดจำกัดการทำงานที่เหมาะสมของงานยกของโดยเกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา

นักวิจัยหลายท่านได้กำหนดขีดจำกัดการทำงานที่เหมาะสมในงานยกของโดยการพิจารณาค่า $\%VO_2\max$ เป็นเกณฑ์ ซึ่งค่า $\%VO_2\max$ ที่ใช้เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยในงานยกของอยู่ในช่วงร้อยละ 33-40 (Michael et al., 1961; Bink, 1964; Samanta & Chatterjee, 1981) และมีบางงานวิจัยได้กำหนดให้ $VO_2\max$ ที่เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยสูงถึงร้อยละ 50 (Astrand, 1960) ซึ่งความแตกต่างของค่า $VO_2\max$ ที่ใช้เป็นเกณฑ์นี้ส่วนหนึ่งอาจเนื่องมาจากความแตกต่างของผู้ถูกทดสอบ ความแตกต่างของสภาวะแวดล้อม และความแตกต่างกันในด้านสรีรวิทยาของเชื้อชาติที่ต่างกันนั่นเอง

สำหรับในงานวิจัยนี้จากการพิจารณาข้อมูล $\%VO_2\max$ RPE Scale (ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.8) จึงได้พิจารณาเลือก $\%VO_2\max$ ที่ร้อยละ 35 ที่เสนอโดย Michael et al. (1961) เป็นเกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดของงานยกของสำหรับที่ความถี่การยก 6 ครั้งต่อนาที ทั้งนี้เนื่องจากผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าสำหรับการยกของที่ให้ค่า $\%VO_2\max$ ตั้งแต่ร้อยละ 36 เป็นต้นไปผู้ถูกทดสอบจะเลือกค่า RPE Scale เท่ากับ 13 ซึ่งเป็นความรู้สึกว่างานยกของที่ทำนั้นเป็นงานค่อนข้างหนักแล้ว ส่วนการยกที่ความถี่ต่ำนั้นลักษณะของงานจะเป็นแบบสถิต ความเมื่อยล้าจะมีผลในการจำกัดขีดความสามารถของร่างกายมากกว่าความเหนื่อย ดังนั้นสำหรับการยกที่ความถี่ต่ำ Asfour (1980) จึงเสนอให้ใช้ $\%VO_2\max$ ที่ต่ำกว่า $\%VO_2\max$ ของการยกที่

ความถี่สูงเพื่อเป็นขีดจำกัดความปลอดภัย และจากผลของการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้สอดคล้องกับแนวความคิดของ Astour ดังกล่าวโดยพบว่า สำหรับงานยกของที่ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที นั้น การยกของที่ให้ค่า $\%VO_2\max$ เท่ากับร้อยละ 25 ผู้ถูกทดสอบจะเลือกค่า RPE Scale เท่ากับ 12 ซึ่งเป็นความรู้สึกว่างานยกของที่ได้ทดลองอยู่นั้นเป็นงานที่มีความหนักเบาของงานที่ไม่มากเกินไป ในขณะที่การยกของที่ให้ค่า $\%VO_2\max$ มากกว่าร้อยละ 25 นั้น RPE Scale ที่ได้จะบ่งชี้ว่าผู้ถูกทดสอบมีความรู้สึกว่างานยกนั้นเป็นงานที่ค่อนข้างหนักแล้ว จากเหตุผลดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกค่า $\%VO_2\max$ ที่ร้อยละ 25 เป็นขีดจำกัดความปลอดภัยสำหรับงานยกของที่มีความถี่การยก 3 ครั้งต่อนาที ซึ่งค่า $\%VO_2\max$ ที่เลือกนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Petrosky & Lind (1978) ที่กล่าวว่าขีดจำกัดบนที่จะทำให้คนงานทำงานที่เกี่ยวข้องกับการยกของโดยไม่เกิดความล้าคือ 25 $\%VO_2\max$

เมื่อกำหนดระดับขีดจำกัด $\%VO_2\max$ สูงสุดที่ยอมรับได้ในงานยกของที่ความถี่การยก 6 ครั้งต่อนาที และ 3 ครั้งต่อนาที เท่ากับร้อยละ 35 และ 25 ตามลำดับดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ได้จากการหาพหุสัมพันธ์ของ $\%VO_2\max$ เป็นฟังก์ชันของปัจจัยที่มีผล (แสดงไว้ในภาคผนวก ข.) เพื่อทำการหาน้ำหนักสูงสุดที่ยอมให้ยกได้โดยไม่เกินขีดจำกัดความปลอดภัยได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ขีดจำกัดสูงสุดของน้ำหนักที่ยอมรับได้ที่ได้จากการทดลองใน
แนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา

ผลการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์ (Psychophysics Approach)

การทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์ในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองให้ผู้ถูกทดสอบเลือกน้ำหนักการยกด้วยตัวของผู้ถูกทดสอบเองโดยที่ผู้ถูกทดสอบพิจารณาว่าน้ำหนักดังกล่าวจะเป็นน้ำหนักสูงสุดที่ผู้ถูกทดสอบสามารถยกได้ตลอดระยะเวลาของการยกโดยไม่ทำให้เกิดความเครียด ภาวะไม่สบาย เหนื่อย อุดหนึ่มของร่างกายสูงเกินขนาด หรือเกิดการหายใจไม่ทัน น้ำหนักที่เลือกได้นี้กำหนดให้เป็นค่า MAW (Maximal Acceptable Weight of Lift)

ลักษณะภาระงานในงานวิจัยนี้ถูกกำหนดโดยปัจจัยสองอย่างคือ ความถี่ของการยก (3 ครั้งต่อนาที และ 6 ครั้งต่อนาที) และความสูงของการยก (75 เซนติเมตร และ 125 เซนติเมตร) ในการทดลองผู้ถูกทดสอบจะมีเวลา 20 นาทีในการเลือกน้ำหนักโดยที่ผู้ถูกทดสอบสามารถที่จะปรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ตลอดระยะเวลาของการทดลองกระทั่งผู้ถูกทดสอบพึงพอใจน้ำหนักที่เลือกนั้น การทดลองจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งข้อมูลอัตราการใช้ออกซิเจนและอัตราการเต้นของหัวใจจะเข้าสู่สภาวะสมดุล การบันทึกข้อมูลจะกระทำที่สภาวะสมดุลนี้ต่อไปอีกอย่างน้อย 3 นาที

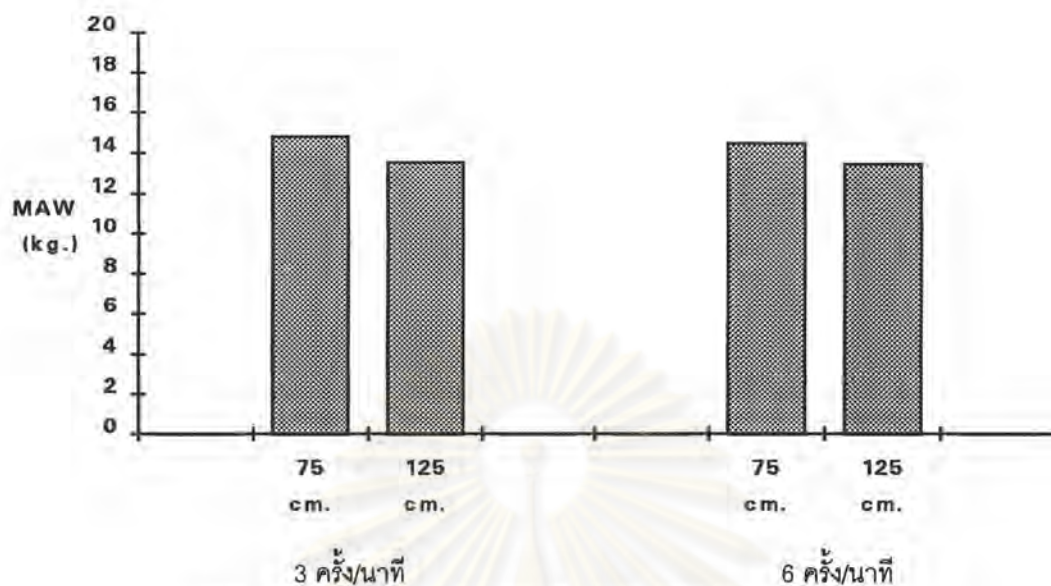
ในแต่ละลักษณะภาระงานผู้ถูกทดสอบแต่ละคนจะต้องทำการทดลองซ้ำสองครั้ง หากน้ำหนักที่ผู้ถูกทดสอบเลือกได้ในการทดลองครั้งแรกและการทดลองทำซ้ำครั้งที่สองต่างกันมากกว่าร้อยละ 15 จะต้องทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง การทดลองครั้งที่ให้ผลที่แตกต่างกันจะถูกตัดออกไปเพื่อให้ได้การทดลองที่ให้ผลที่ดีที่สุดสองครั้ง ซึ่งรายละเอียดผลการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์ของผู้ถูกทดสอบแต่ละคนแสดงได้ในภาคผนวก จ.2 และผลการทดลองเฉลี่ยของผู้ถูกทดสอบทั้ง 8 คนแสดงตารางที่ 4.9

จากการทดลองในแนวจิตฟิสิกส์โดยให้ผู้ถูกทดสอบเลือกน้ำหนักของตนเองนั้น เป็นที่น่าสังเกตว่าผู้ถูกทดสอบจะเลือกน้ำหนักที่ใกล้เคียงกันแม้ว่าความถี่ของการยกจะเปลี่ยนจาก 3 ครั้งต่อนาที เป็น 6 ครั้งต่อนาที หรือเปลี่ยนความสูงจาก 75 เซนติเมตร เป็น 125 เซนติเมตร ก็ตามที จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อดูผลของปัจจัยความถี่ของการยกและความสูงของการยกที่มีต่อการเลือกน้ำหนัก MAW ของผู้ถูกทดสอบ (รายละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.) พบว่าทั้งปัจจัยความถี่ของการยกและปัจจัยความสูงของการยกล้วนไม่มีผลต่อการเลือกน้ำหนัก MAW ของผู้ถูกทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์เฉลี่ยและผลของการตอบสนองทาง สรีรวิทยาอันเนื่องมาจากการยกของที่น้ำหนัก MAW ที่ผู้ถูกทดสอบเลือก

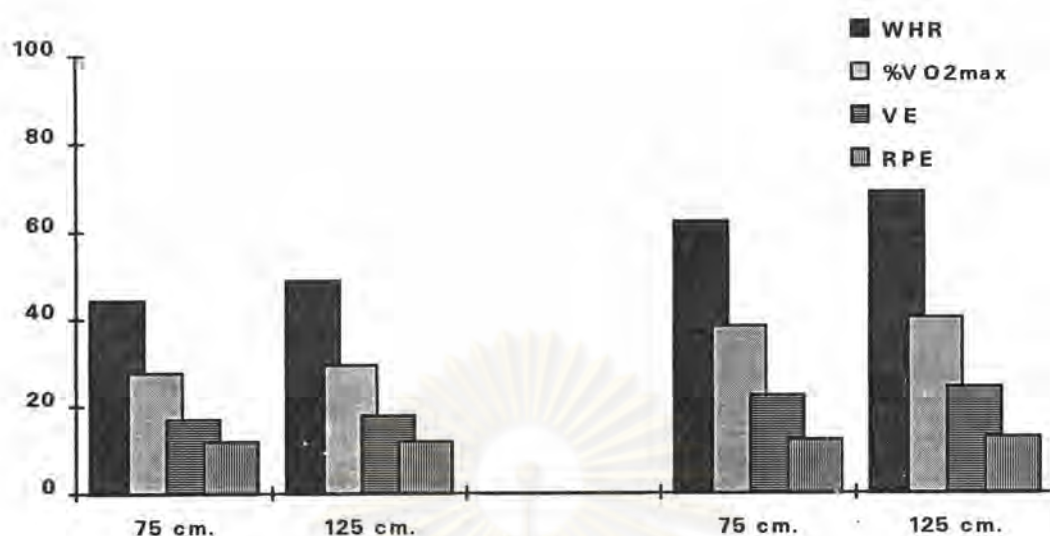
	ความถี่ 3 ครั้ง/นาที		ความถี่ 6 ครั้ง/นาที	
	สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.	สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.
MAW (กิโลกรัม)	14.813 (3.366)	13.547 (3.269)	14.469 (3.519)	13.453 (3.572)
%VO ₂ max	27.730 (4.138)	29.443 (4.016)	38.186 (4.754)	40.134 (3.947)
VE	16.910 (1.557)	17.843 (1.717)	22.293 (2.097)	24.249 (3.539)
WHR	44.169 (7.624)	48.752 (9.695)	62.128 (14.135)	69.842 (14.870)
RPE	11.813 (0.726)	11.875 (0.599)	12.188 (0.527)	12.688 (0.682)

จากการสอบถามความรู้สึกของผู้ถูกทดสอบพบว่าผู้ถูกทดสอบส่วนใหญ่มีทัศนคติว่าความหนักเบาของภาระงานเป็นผลมาจากปัจจัยน้ำหนักของการยกมากที่สุด และบางครั้งผู้ถูกทดสอบจะให้ความสำคัญต่อบรรยากาศความถี่ของการยกน้อยมาก ผู้ถูกทดสอบบางคนกล่าวว่าชอบการยกที่ความถี่ 6 ครั้งต่อนาทีมากกว่าการยกที่ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที ทั้งนี้เนื่องจากการยกที่ความถี่ 3 ครั้งต่อนาทีจะเป็นการยกที่มีลักษณะเป็นการะงานแบบสติด การยกไม่เป็นจังหวะต่อเนื่องต้องรอคอยนานก่อให้เกิดความเบื่อหน่าย ในขณะที่การยกที่ความถี่ 6 ครั้งต่อนาทีจะเป็นการยกที่มีลักษณะเป็นพลวัตมากกว่าและเป็นการยกที่มีจังหวะต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาถึงค่า RPE Scale เพื่อเป็นการยืนยันว่าน้ำหนัก MAW เป็นน้ำหนักที่ผู้ถูกทดสอบพึงพอใจที่จะยกจริง และพบว่าในทุกการทดลองไม่ว่าจะเป็นการยกที่ความถี่ 3 ครั้งต่อนาทีหรือ 6 ครั้งต่อนาที และไม่ว่าจะเป็นการยกในความสูง 75 เซนติเมตร หรือ 125 เซนติเมตรก็ตาม ผู้ถูกทดสอบจะเลือกค่า RPE Scale อยู่ในช่วงพิสัย 11 ถึง 13 โดยมีค่าฐานนิยมเท่ากับ 12 และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.141 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความรู้สึกที่ผู้ถูกทดสอบมีต่อค่าน้ำหนัก MAW ที่ผู้ถูกทดสอบเลือกนั้นคือ MAW เป็นน้ำหนักที่พอดีไม่หนักเกินไปและไม่เบาเกินไป



รูปที่ 4.9 ค่า MAW ของการยกที่ระดับปัจจัยต่างๆ

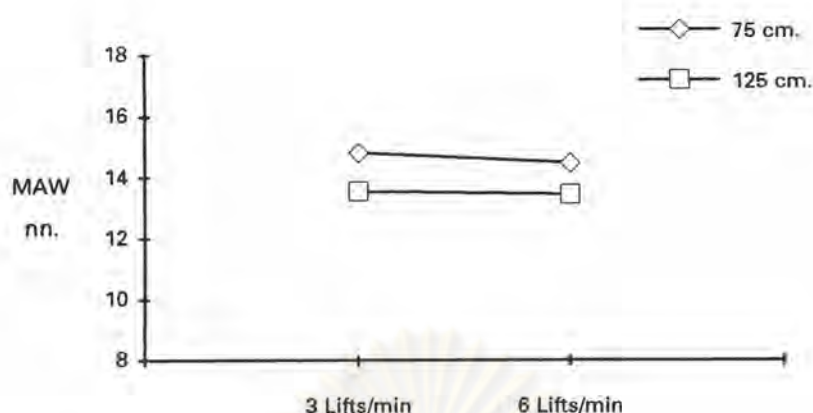
เมื่อพิจารณาถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาของผู้ถูกทดสอบที่มีต่อการยกด้วยค่าน้ำหนักการยกเท่ากับค่า MAW ที่ผู้ถูกทดสอบเลือกนั้นพบว่าแม้ว่าน้ำหนัก MAW ที่ผู้ถูกทดสอบเลือกที่ความถี่การยกและความสูงของการยกที่ระดับต่างๆ จะมีค่าใกล้เคียงกันก็ตาม แต่การตอบสนองทางสรีรวิทยาอันได้แก่ค่า $\%VO_2\max$ และ WHR กลับพบว่าขึ้นอยู่กับปัจจัยความถี่ของการยก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยความถี่ของการยกมีผลต่อค่า $\%VO_2\max$ และ WHR อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (ผลของการวิเคราะห์แสดงได้ในภาคผนวก ค.) อย่างไรก็ตามผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อความสูงของการยกหรือความถี่ของการยกสูงขึ้นผู้ถูกทดสอบมีแนวโน้มที่จะเลือกน้ำหนัก MAW มีค่าน้อยลง ดังนั้นหากมีการขยายขอบเขตของงานวิจัยให้ครอบคลุมช่วงความสูงของการยกและความถี่ของการยกให้มากขึ้น ผลของปัจจัยความสูงของการยกและความถี่ของการยกเป็นที่คาดหมายว่าจะแสดงให้เห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.10 ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาเมื่อทำการยกของที่น้ำหนัก MAW

จากผลของการทดลองดังกล่าวทำให้มีข้อสังเกตที่สำคัญประการหนึ่งว่าการที่ปัจจัยความถี่การยกมีผลต่อการตอบสนองทางสรีรวิทยาโดยที่เมื่อความถี่การยกสูงขึ้น ค่า %VO₂max และ WHR จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย แล้วเหตุใดผู้ถูกทดสอบจึงไม่เลือกค่าน้ำหนัก MAW ให้ต่ำลงมาก ๆ เพื่อชดเชยความเหนื่อยที่เกิดจากปัจจัยความถี่ของการยก ดังนั้นหากเปรียบเทียบผลการทดลองในแนวทางการวัดการตอบสนองทางสรีรวิทยากับผลการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์โดยยึดเกณฑ์ของแนวทางจิตฟิสิกส์เป็นหลักแล้วก็จะพบว่า การกำหนดขีดจำกัดการยกที่ปลอดภัยโดยใช้เกณฑ์ของ %VO₂max และ WHR สำหรับการยกที่ความถี่การยกสูงและความถี่การยกต่ำนั้นควรแตกต่างกัน ซึ่งข้อสรุปนี้เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับผลการทดลองในแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา ซึ่งสอดคล้องและเป็นการสนับสนุนแนวคิดของ Asfour (1980) ที่กล่าวว่าสำหรับการยกที่ความถี่ต่ำและความถี่สูงนั้นควรมีขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ที่แตกต่างกัน

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้โดยใช้แนวทางของจิตฟิสิกส์มาพิจารณาขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ในงานยกของที่ระดับความถี่ของการยกสองระดับคือ 3 ครั้งต่อนาที และ 6 ครั้งต่อนาที และที่ความสูงของการยกสองระดับคือ 75 เซนติเมตรและ 125 เซนติเมตร ทำให้ได้เกณฑ์ขีดจำกัดสูงสุดที่ยอมรับได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ขีดจำกัดสูงสุดของน้ำหนักที่ยอมรับได้ที่ได้จากการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์

ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์

โดยวิธีทางชีวกลศาสตร์ในงานวิจัยนี้มุ่งพิจารณาผลกระทบของโมเมนต์และแรงกดที่มีต่อกระดูกสันหลังบริเวณ L5/S1 อันเกิดจากงานยกของ ทั้งนี้เพื่อพิจารณาผลของการทดลองในสองแนวทางแรกอันได้แนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาและแนวทางจิตฟิสิกส์เปรียบเทียบกับผลจากการแนวทางชีวกลศาสตร์เป็นเกณฑ์

เพื่อที่จะบันทึกลักษณะท่าทางการยกตลอดช่วง 1 รอบของการยกโดยละเอียด ในงานวิจัยนี้จึงใช้กล้องถ่ายภาพวิดีโอทำการบินที่ภาพลงม้วนเทปซึ่งสามารถแสดงภาพต่อเนื่องได้ 24 ภาพต่อวินาที จากนั้นใช้เครื่องเล่นวิดีโอระบบ 4 หัวอ่านทำการแสดงภาพต่อเนื่องนั้นที่สะพานอกทางจอโทรทัศน์เพื่อทำการบันทึกภาพแต่ละภาพด้วยกล้องถ่ายภาพอีกต่อหนึ่งเพื่อสะดวกต่อการวิเคราะห์โดยวิธีทางชีวกลศาสตร์ต่อไป

ด้วยเหตุที่การทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์นี้มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการบันทึกภาพต่อเนื่องแต่ละภาพเพื่อนำมากำหนดจุดพิกต์ในการคำนวณ และด้วยข้อจำกัดด้านทุนในการวิจัย ในงานวิจัยนี้จึงทำการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์กับผู้ถูกทดสอบเพียงหนึ่งคนคือผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2 ด้วยเหตุที่ภาพของผู้ถูกทดสอบที่แสดงออกมาทางเครื่องเล่นวิดีโอแสดงให้เห็นถึงจุดแสดงพิกต์ตำแหน่งของข้อต่ออย่างชัดเจนมากที่สุด



รูปที่ 4.12 ภาพการยกต่อเนื่องที่ได้จากวีดิทัศน์ด้วยความเร็ว 24 ภาพต่อนาที

การคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของส่วนต่างๆ ของร่างกายที่ได้จากงานวิจัยของ นริศ เจริญพร (2535) ดังนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลสัดส่วนของชิ้นส่วนต่างๆ ของร่างกาย (ปรับปรุงมาจาก นริศ เจริญพร; 2535)

ส่วนของร่างกาย	จุดศูนย์กลางมวลเทียบกับความยาวของส่วนนั้น วัดจากส่วนใน	สัดส่วนเมื่อเทียบกับมวลร่างกาย (%)
แขนส่วนบน	45.83	6.61
แขนส่วนล่าง	42.22	3.25
มือ	42.82	1.26
ขาส่วนบน	44.07	20.29
ขาส่วนล่าง	42.76	9.94
เท้า	40.54(a) 61.55(b)	3.06
ลำตัวและศีรษะ	41.90(c) 69.69(d)	56.60

หมายเหตุ (a) ความยาวเป็นร้อยละจากสันเท้าถึงปลายเท้า

(b) ความยาวเป็นร้อยละจากข้อเท้าถึงฝ่าเท้า

(c) ความยาวเป็นร้อยละจากสะโพกถึงศีรษะ

(d) ความยาวเป็นร้อยละจากสะโพกถึงหัวไหล่

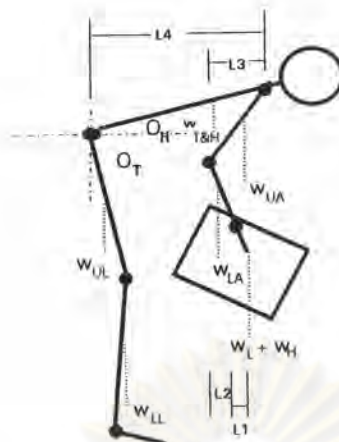
ผู้ถูกทดสอบจะต้องทำการติดจุดเครื่องหมายกำหนดตำแหน่งบนร่างกายเพื่อแสดงจุดข้อต่อต่างๆ ของร่างกายอันได้แก่ ข้อมือ ข้อศอก หัวไหล่ สะโพก หัวเข่าและข้อเท้า เพื่อเป็นจุดอ้างอิงพิกัดตำแหน่งในการคำนวณโดยวิธีทางชีวกลศาสตร์ดังแสดงในรูป 4.13



รูปที่ 4.13 รูปการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์ชี้ให้เห็นถึงการติดจุดเครื่องหมายกำหนดจุดพิกัดของข้อต่อต่างๆ

1. การคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นบริเวณ L5/S1 อันเนื่องมาจากการยกของ

การคำนวณหาโมเมนต์ที่ L5/S1 ในงานวิจัยนี้ใช้หลักการของ Free Part Body โดยการแบ่งชิ้นส่วนร่างกายออกเป็นส่วนๆ ได้แก่ มือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวและศีรษะ ขาสั้นบน ขาสั้นล่าง และเท้า จากนั้นทำการคำนวณหาค่าโมเมนต์ที่เกิดจากการยกของที่เกิดขึ้นที่ข้อมือส่งผ่านไปยังศอก หัวไหล่ และกระดูกสันหลังบริเวณ L5/S1 ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 ภาพลายเส้นที่ได้จากการลากเชื่อมจุดข้อต่อของกระดูกเพื่อ
กำหนดพิกัดตำแหน่งในการคำนวณโดยวิธีชีวกลศาสตร์

จากรูปที่ 4.14 แสดงถึงการแบ่งร่างกายของมนุษย์เป็น 5 ส่วนสำคัญคือ แขนส่วนล่าง
แขนส่วนบน ลำตัวและศีรษะ ขาสส่วนบน และขาส่วนล่าง ทั้งตามวิธีที่เสนอโดย Morris, Lucus &
Bressler (1961) เพื่อความสะดวกต่อการคำนวณโดยวิธีทางชีวกลศาสตร์โดยที่

โดยที่	W_H	คือมวลของมือ
	W_L	คือมวลของภาระงานที่ถือ
	W_{LA}	คือมวลของแขนส่วนล่าง
	W_{UA}	คือมวลของแขนส่วนบน
	$W_{H\&T}$	คือมวลของลำตัวและศีรษะ
	W_{UL}	คือมวลของขาสส่วนบน
	W_{LL}	คือมวลของขาสส่วนล่าง

สำหรับระยะทางในแนวราบระหว่างข้อต่อต่างๆ ที่ได้จากภาพถ่ายการทดลองดังแสดง
ในรูปที่ 4.13 นั้นพบว่ามีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงอยู่บ้างเป็นผลมาจากความผิด
พลาดของอุปกรณ์บันทึกภาพวิดีโอ ทั้งนี้เนื่องจากธรรมชาติของเลนส์ที่มีมุมมองที่แยกขยาย
ออกจากกันมากขึ้นเมื่อบันทึกภาพที่ไกลออกไป ดังนั้นภาพผู้ถูกทดสอบที่เห็นจะพบว่ามีความ
ใหญ่กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับภาพของช่องตารางวัดระยะซึ่งอยู่อีกกระนาบไปทางด้านหลังนั้น หรือ
กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเนื่องมาจากผู้ถูกทดสอบอยู่ในระนาบที่ใกล้กล้องวิดีโอมากกว่าช่อง
ตารางวัดระยะนั่นเอง และจากการเปรียบเทียบขนาดที่แท้จริงกับระยะที่นับได้จากช่องตารางวัด
ระยะแล้ว พบว่าขนาดที่แท้จริงจะมีขนาดเป็น 0.8 เท่าของระยะที่นับได้จากตารางวัดระยะ ดัง

นั้นระยะห่างระหว่างข้อต่อต่างๆ ที่ต้องใช้ในการคำนวณจึงเขียนได้ดังนี้

$L_1 = 0.8 \times$ ระยะทางในแนวราบจากข้อมือไปยังจุดศูนย์กลางมวลของภาระงานที่ถือที่นับได้จากตารางวัดระยะ

$L_2 = 0.8 \times$ ระยะทางในแนวราบจากข้อศอกไปยังข้อมือที่นับได้จากตารางวัดระยะ

$L_3 = 0.8 \times$ ระยะทางในแนวราบจากหัวไหล่ไปยังข้อศอกที่นับได้จากตารางวัดระยะ

$L_4 = 0.8 \times$ ระยะทางในแนวราบจากสะโพกไปยังหัวไหล่ที่นับได้จากตารางวัดระยะ

1.1 การคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ข้อมือ

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ข้อมือเป็นผลมาจากน้ำหนักสองส่วนด้วยกันคือน้ำหนักที่ยกและน้ำหนักของมือโดยที่แขนของโมเมนต์เท่ากับระยะทางในแนวราบจากข้อมือไปยังจุดศูนย์กลางมวลของมือ ดังนั้นการคำนวณโมเมนต์ที่ข้อมือคำนวณได้ดังนี้

BW น้ำหนักร่างกายเท่ากับ 61 กิโลกรัม

W_L น้ำหนักที่ยกเท่ากับ 25 กิโลกรัม

W_H น้ำหนักของมือเท่ากับ $0.0126 \times BW$

$L_{cg(H)}$ ระยะในแนวราบจากข้อมือไปยังจุดศูนย์กลางมวลของมือเท่ากับ $0.4282 \times L_1$

ดังนั้น $M_{Wrist} = (W_L + W_H) \times L_{cg(H)}$
 $= (25 \text{ กก.} + (0.0126 \times 61 \text{ กก.})) \times (1.7128 \text{ ซม.})$
 $= 44.137 \text{ กก.}\cdot\text{ซม.}$

$R_{Wrist} =$ มวลรวมที่กระทำต่อข้อมือ
 $= (W_L + W_H)$
 $= 25.769 \text{ กก.}$

1.2 การคำนวณโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ข้อศอก

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่ข้อศอกเป็นผลมาจากน้ำหนักสองส่วนด้วยกันคือน้ำหนักที่ส่งมาจากข้อมือและน้ำหนักของแขนส่วนล่าง โดยที่แขนของโมเมนต์เท่ากับระยะทางในแนวราบจากข้อศอกไปยังข้อมือและจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนล่างตามลำดับ ดังนั้นการคำนวณโมเมนต์ที่ข้อมือคำนวณได้ดังนี้

W_{LA} น้ำหนักแขนส่วนล่างเท่ากับ $0.0325 \times BW$



ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$L_{cg(LA)}$ ระยะในแนวราบจากศอกไปยังจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนล่าง

$$\text{เท่ากับ } 0.4222 * L_2$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } M_{Elbow} &= (W_{LA} * L_{cg(LA)}) + (R_{Wrist} * L_2) + M_{Wrist} \\ &= ((0.0325 * 61 \text{ กก.}) * (0.4222 * 9.6 \text{ ซม.})) + (25.769 \text{ กก.} * 9.6 \text{ ซม.}) + 44.137 \\ &= 299.555 \text{ กก.-ซม.} \end{aligned}$$

R_{Elbow} = มวลรวมที่กระทำต่อข้อศอก

$$= R_{Wrist} + W_{LA}$$

$$= 27.751 \text{ กก.}$$

1.3 การคำนวณโมเมนต์ที่เกิดที่หัวไหล่

โมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่หัวไหล่เป็นผลมาจากน้ำหนักสองส่วนเช่นกันคือน้ำหนักที่ส่งมาจากข้อศอกและน้ำหนักของแขนส่วนบน ดังนั้นแขนของโมเมนต์ที่เกิดจากแรงทั้งสองจึงเท่ากับระยะทางในแนวราบจากหัวไหล่ไปยังข้อศอกและจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนบนตามลำดับ

W_{UA} น้ำหนักแขนส่วนล่างเท่ากับ $0.0661 * BW$ (กก.)

$L_{cg(UA)}$ ระยะในแนวราบจากหัวไหล่ไปยังจุดศูนย์กลางมวลของแขนส่วนบนเท่ากับ $0.458 * L_3$ (ซม.)

$$\begin{aligned} M_{Shoulder} &= (W_{UA} * L_{cg(UA)}) + (R_{Elbow} * L_3) + M_{Elbow} \\ &= ((0.0661 * 61 \text{ กก.}) * (0.458 * 17.6 \text{ ซม.})) + (27.751 \text{ กก.} * 17.6 \text{ ซม.}) + 299.555 \\ &= -221.364 \text{ กก.-ซม. (โมเมนต์ทวนเข็มนาฬิกา)} \end{aligned}$$

$R_{Shoulder}$ = มวลรวมที่กระทำต่อหัวไหล่

$$= R_{Elbow} + W_{UA}$$

$$= 31.783 \text{ กก.}$$

1.4 การคำนวณโมเมนต์ที่เกิดที่กระดูกสันหลังส่วนล่าง

สำหรับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่กระดูกสันหลังนั้น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจุดที่จะคิดโมเมนต์ไว้คือจุดข้อต่อของสะโพก ซึ่งโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากน้ำหนักที่ส่งผ่านมาจากข้อต่อของหัวไหล่และน้ำหนักของลำตัวรวมกับศีรษะ แขนของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นเท่ากับระยะทางในแนวราบจากจุดข้อต่อของสะโพกไปยังหัวไหล่และจุดศูนย์กลางมวลของลำตัวรวมกับ

ศีรษะตามลำดับ

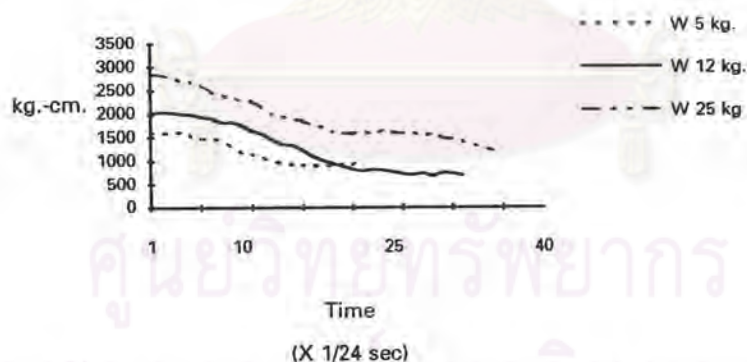
$W_{T\&H}$ น้ำหนักลำตัวรวมกับศีรษะเท่ากับ $0.566 * BW$ (กก.)

$L_{cg(T\&H)}$ ระยะในแนวราบจากสะโพกไปยังจุดศูนย์กลางมวลของลำตัวรวมกับศีรษะเท่ากับ $0.6969 * L_4$ (ซม.)

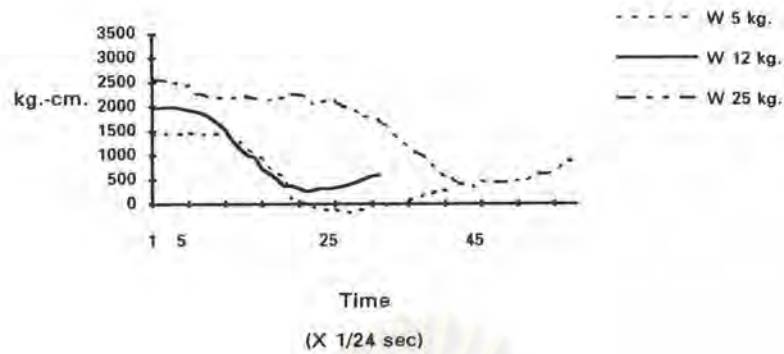
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } M_H &= (W_{T\&H} * L_{cg(T\&H)}) + (R_{Shoulder} * L_4) + M_{Shoulder} \\ &= ((0.566*61\text{กก.}) * (0.6969*44\text{ซม.})) + (31.783*44 \text{ ซม.}) - 221.364 \\ &= 2235.779 \text{ กก.-ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_H &= R_{Shoulder} + W_{T\&H} \\ &= 66.309 \text{ กก.} \end{aligned}$$

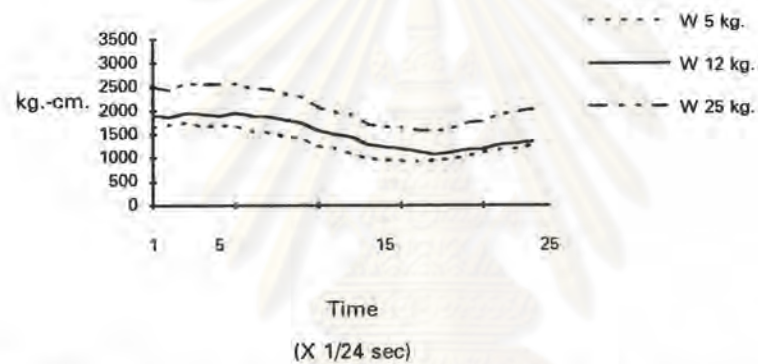
จากการคำนวณหาโมเมนต์ที่เกิดขึ้นในบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างดังกล่าว กับภาพถ่ายต่อเนื่องของการยกแต่ละครั้งซึ่งสามารถให้รายละเอียดได้ถึง 24 ภาพต่อวินาที ดังนั้นจะได้กราฟโมเมนต์ตลอดช่วงการยกในลักษณะของการคำนวณแบบพลวัตแฝง (Pseudo-dynamics) ดังแสดงได้ดังรูปต่อไปนี้



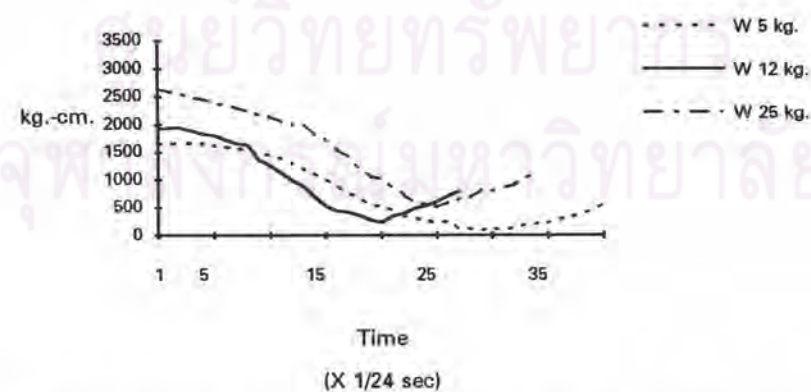
รูปที่ 4.15 โมเมนต์บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 3 ครั้งต่อวินาที และปัจจัยความสูง 75 ซม.



รูปที่ 4.16 โมเมนต์บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 3 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 125 ซม.



รูปที่ 4.17 โมเมนต์บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 6 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 75 ซม.



รูปที่ 4.18 โมเมนต์บริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 6 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 125 ซม.

2. การคำนวณแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 อันเกิดจากงานยกของ

การคำนวณหาแรงกดอัดที่กระทำต่อ L5/S1 ในงานวิจัยนี้ได้อ้างรูปแบบการคำนวณหาแรงกดอัดที่เสนอโดย Morris, Lucas and Bressler (1961) เนื่องจากเป็นรูปแบบการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากสามารถเข้าใจได้โดยง่ายรวมทั้งรูปแบบการคำนวณเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

โดยรูปแบบการคำนวณนี้ Morris et al. (1961) ได้กล่าวว่าเมื่อมีโมเมนต์มากกระทำต่อ L5/S1 อันเนื่องมาจากงานยกของนั้น ภายในร่างกายจะมีแรงอีกสองแรงเข้ามาเกี่ยวข้องในการพยุงลำตัวไว้อันได้แก่ แรงดึงของกล้ามเนื้อ Extensor elector spinae (F_M) และแรงดันที่เกิดขึ้นภายในช่องท้องอันเนื่องมาจากการงอลำตัว (F_A)

2.1 การคำนวณหาแรงที่เกิดจากความดันภายในช่องท้อง

Fisher (1967) ได้กำหนดให้ความดันภายในช่องท้องเป็นฟังก์ชันของมุมของสะโพกและต้นขาเทียบกับแนวดิ่ง (θ'_H , θ'_T) รวมทั้งโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่สะโพก M_H (มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร)

$$\begin{aligned} P_a &= 10^{-4} * (43 - 0.36(\theta'_H + \theta'_T)) * (M_H)^{1.8} \\ &= 10^{-4} * \{43 - 0.36*(72 + 15)\} * (223.578)^{1.8} \text{ นิวตัน-เมตร} \\ &= 19.789 \text{ มิลลิเมตรปรอท} \\ &= 0.0264 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

ส่วนพื้นที่หน้าตัดช่องท้อง Morris et al. (1961) กำหนดว่ามีค่าเฉลี่ย 465 cm^2

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } F_A &= 0.0264 * 465 \\ &= 12.268 \text{ กก.} \end{aligned}$$

2.2 การคำนวณหาแรงที่เกิดจากกล้ามเนื้อ Extensor elector spinae

จากการกำหนดให้ผลรวมของโมเมนต์ที่ L5/S1 เป็นศูนย์ดังนั้นสมการผลรวมของโมเมนต์ที่เกิดจากแรงต่างๆ เขียนได้ดังนี้

$$M_H - D(F_A) - E(F_M) = 0$$

- โดยที่ M_H คือโมเมนต์รวมของน้ำหนักลำตัวเหนือสะโพกและน้ำหนักที่ยก
- D เป็นระยะทางแนวราบจากกล้ามเนื้อ Extensor elector spinae ถึง L5/S1 ซึ่งมีระยะประมาณ 11 ซม. (Morris et al. 1961)
- E เป็นระยะทางแนวราบจากจุดศูนย์กลางของแรงดันช่องท้องถึง L5/S1 ซึ่งมีระยะประมาณ 5 ซม. (Bartelink; 1957)
- ดังนั้น $F_M = \{ 2235.779 - 11(12.268) \} / 5$
 $= 420.166$ กก.

2.3 การคำนวณหาค่าแรงกดอัดที่กระทำต่อกระดูกสันหลังส่วนล่าง

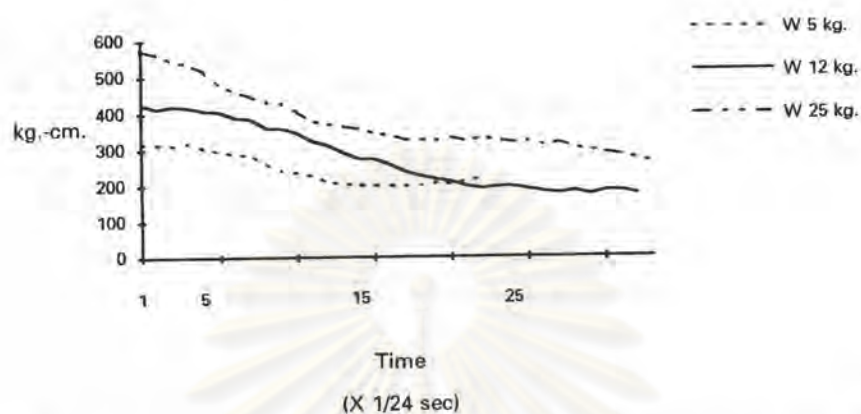
จากการสมมูลแรงทั้งหมดที่มากกระทำต่อ L5/S1 พบว่ามีแรงที่มากกระทำทั้งหมดคือ แรงจากน้ำหนักร่างกายส่วนบนเหนือ L5/S1 แรงจากน้ำหนักที่ยก แรงดันจากภายในช่องท้องและแรงพุงจากกล้ามเนื้อ Extensor elector spinae

$$(W_{\text{above L5/S1}} + W_{\text{Load}}) \sin \alpha - F_A + F_M - F_{\text{Comp}} = 0$$

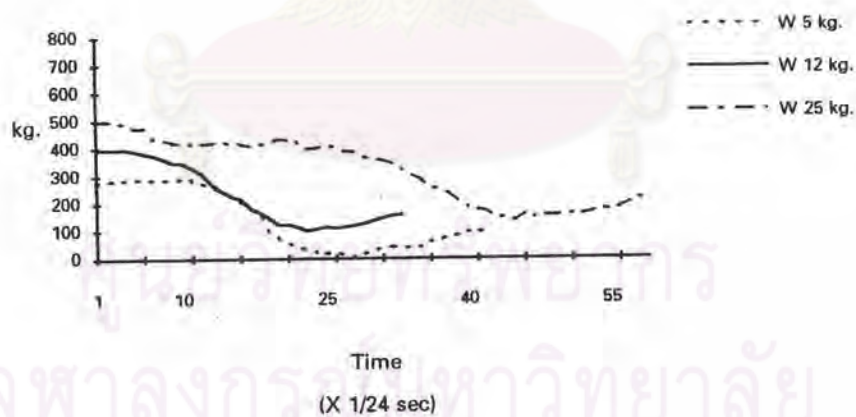
$$\begin{aligned} F_{\text{Comp}} &= (0.6772 \cdot BW + 25) \sin 18 - 12.268 + 420.166 \\ &= (0.6772 \cdot 61 + 25) \sin 18 - 12.268 + 420.166 \\ &= 428.38 \text{ กก.} \end{aligned}$$

จากค่าแรงกดอัดที่คำนวณได้จากภาพต่อเนื่องทำให้ได้กราฟในลักษณะพลวัตแฝงเช่นเดียวกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้และพบว่าค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดตลอดช่วงการยกมีลักษณะแนวโน้มเดียวกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าโมเมนต์และแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด ($R^2 = 0.987$)

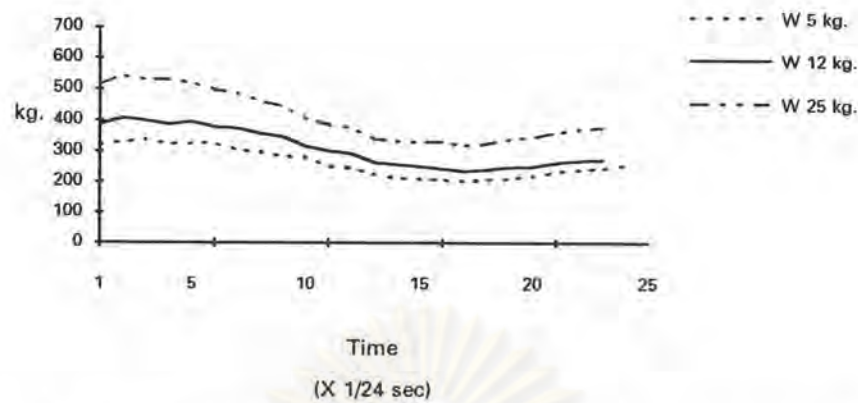
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



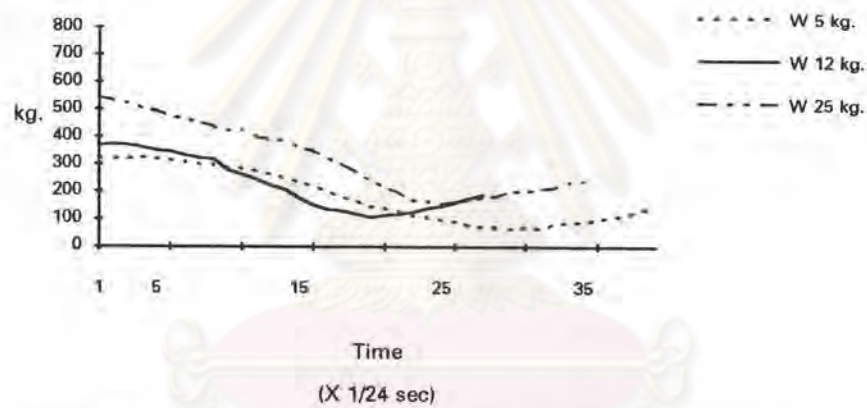
รูปที่ 4.19 แรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่
ปัจจัยความถี่ของการยก 3 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 75 ซม.



รูปที่ 4.20 แรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัย
ความถี่ของการยก 3 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 125 ซม.



รูปที่ 4.21 แรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 6 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 75 ซม.



รูปที่ 4.22 แรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่เกิดจากงานยกของที่ปัจจัยความถี่ของการยก 6 ครั้งต่อนาที และปัจจัยความสูง 125 ซม.

โดยวิธีพิจารณาแบบภาวะพลวัตแต่นี้จุดวิกฤติที่ให้ความสำคัญก็คือค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นในบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่สูงที่สุดตลอดช่วงการยกในแต่ละครั้งซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกราฟแสดงค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดต่อเนื่องดังกล่าว โมเมนต์และค่าแรงกดอัดสูงสุดของการยกแสดงได้ในตาราง 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่าโมเมนต์สูงสุดและ(แรงกดอัดสูงสุด) ของการยกที่ปัจจัยน้ำหนักของการยก ปัจจัยความถี่ของการยก และปัจจัยความสูงของการยกต่างๆ

	ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที		ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที	
	75 ซม.	125 ซม.	75 ซม.	125 ซม.
5 กก.	1625.7 (320.3)	1482.4 (292.9)	1750.4 (340.1)	1663.1 (323.3)
12 กก.	2045.4 (420.9)	2003.5 (399.8)	1961.9 (409.2)	1945.3 (374.3)
25 กก.	2832.5 (579.9)	2572.9 (502.3)	2590.3 (543.6)	2638.5 (545.3)



3. การพิจารณาลักษณะงานยกของที่การทดลองระดับปัจจัยต่างๆ โดยวิธีทางชีวกลศาสตร์

ผลของโมเมนต์และแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเนื่องมาจากงานยกของดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.11 นั้นเป็นโมเมนต์วิกฤตที่สูงที่สุดของโมเมนต์ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงของการยกของ เพื่อที่จะพิจารณาว่าโมเมนต์และแรงกดอัดที่เกิดขึ้นนั้นเกินขีดระดับความปลอดภัยหรือไม่ ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเปรียบเทียบโมเมนต์และแรงกดอัดที่เกิดขึ้นกับเกณฑ์มาตรฐานที่ได้มีนักวิจัยท่านอื่นๆ ได้กำหนดไว้

นักวิจัยหลายท่านได้กำหนดค่า Compressive Strength (CS) ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่กระดูกสันหลังจะทนได้ขึ้นดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.1 และ Eie (1966) กล่าวไว้ว่าขีดจำกัดความปลอดภัยควรเป็น ร้อยละ 60 ของค่า CS ที่คำนวณได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ใช้สมการประมาณค่า CS ของนักวิจัยบางท่านในตารางที่ 2.1 ทำการคำนวณค่า CS ของกระดูกสันหลังส่วนล่างบริเวณ L5/S1 ซึ่งได้ค่าดังแสดงได้ในตารางที่ 4.12 ซึ่งจากขีดจำกัดความปลอดภัยที่ได้ดังกล่าว

ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้ค่าขีดจำกัดความปลอดภัยที่ได้จากสมการประมาณค่า CS ที่เสนอโดย

Adams & Hutton (1982) เป็นเกณฑ์ความปลอดภัยเนื่องจากเป็นค่าที่มีความปลอดภัยที่สุด

ตารางที่ 4.12 ค่า Compressive Strength และค่าขีดจำกัดความปลอดภัยที่คำนวณจากสมการที่นักวิจัยท่านอื่นได้กำหนดขึ้น

นักวิจัย	CS (กก.)	ขีดจำกัดความปลอดภัย (ร้อยละ 60 ของ ค่า CS)
Adams & Hutton (1982)	712.1	427.3
Hansson และคณะ (1987)	738.9	443.3
Brinkmann และคณะ (1988)	839.2	503.5
Jager & Luttmann (1992)	848.2	508.9

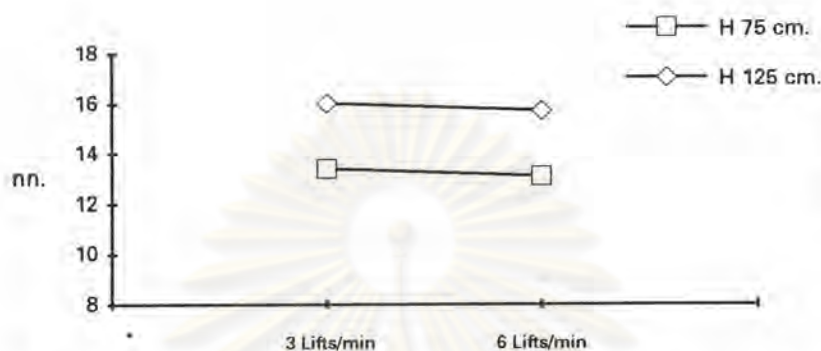
หมายเหตุ ผู้ถูกทดสอบในงานวิจัยนี้เป็นเพศชาย อายุ 21 ปี

ดังนั้นเมื่อพิจารณาค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากงานยกของในงานวิจัยนี้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบกับขีดจำกัดความปลอดภัยที่ได้ในตารางที่ 4.12 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 427.3 กก. ทำให้สามารถสรุปได้ว่า สำหรับการยกของที่ปัจจัยน้ำหนักเท่ากับ 5 กิโลกรัมและ 12 กิโลกรัมที่ปัจจัยความถี่การยกเท่ากับ 3 ครั้งต่อนาทีและ 6 ครั้งต่อนาที ความสูงของการยก 75 เซนติเมตร และ 125 เซนติเมตรจากระดับพื้นนั้นอยู่ในเกณฑ์ความปลอดภัยที่ยอมรับได้ ในขณะที่การยกของที่ระดับปัจจัยน้ำหนักการยกเท่ากับ 25 กิโลกรัมจะก่อให้เกิดแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินขีดระดับความปลอดภัยในทุกๆ ปัจจัยความสูงของการยกและปัจจัยความถี่ของการยก

เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างพบว่า มีเพียงปัจจัยน้ำหนักของการยกเท่านั้นที่มีผลต่อค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ส่วนปัจจัยความถี่ของการยกและความสูงของการยกนั้นไม่มีผลต่อค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นดังรายละเอียดที่ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

และจากสมการถดถอยซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นเป็นฟังก์ชันของปัจจัยน้ำหนักของการยก ความถี่ของการยก และความสูงของการยก เมื่อกำหนดให้

ค่าแรงกดอัดเท่ากับ 427.3 กก. ซึ่งเป็นค่าแรงกดอัดสูงสุดที่ยอมรับได้แล้วคำนวณย้อนกลับเพื่อหาค่าน้ำหนักของการยก ก็สามารถหาค่าน้ำหนักการยกสูงสุดที่ยอมรับได้ดังแสดงได้ในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ขีดจำกัดสูงสุดของน้ำหนักที่ยอมรับได้ที่ได้จากการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์

และเนื่องจากข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายของการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์เป็นผลให้สามารถทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์ได้กับผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2 เพียงคนเดียวเท่านั้น ดังนั้นในการเปรียบเทียบผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์กับแนวทางจิตฟิสิกส์และแนวทางการใช้การตอบสนองทางสรีรวิทยาจึงเปรียบเทียบได้เฉพาะผลการทดลองของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2 เท่านั้น ผลการทดลองของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2 แสดงได้ดังตาราง 4.3

ผลของการพิจารณาโดยใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาเป็นหลักนั้นจะพบว่าการยกที่น้ำหนัก 12 กก. ความถี่ 6 ครั้งต่อนาที ทั้งสองความสูงการยกจะให้ค่า $\%VO_2\max$ ที่เกินขีดจำกัดความปลอดภัย ในขณะที่ผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์ชี้ว่าเป็นการยกที่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยนั้นคือไม่ก่อให้เกิดค่าแรงกดอัดต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินไปกว่า 427.3 กก. นอกจากนั้นแล้วยังพบว่าผลการทดลองในแนวทางชีวกลศาสตร์แสดงให้เห็นว่าการยกน้ำหนัก 25 กก. ในทุกความถี่การยกและทุกความสูงการยกนั้นเป็นการยกที่เกินขีดจำกัดความปลอดภัย แต่โดยเกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยา ค่า $\%VO_2\max$ กลับบ่งชี้ว่าการยกที่น้ำหนัก 25 กก. ความถี่ 3 ครั้งต่อนาที และความสูง 75 ซม. นั้นเป็นการยกที่อยู่ในขีดระดับความปลอดภัยเนื่องจากว่ามีค่า $\%VO_2\max$ เพียง 31.45 ซึ่งยังไม่เกินขีดระดับความปลอดภัย

ตารางที่ 4.13 ผลการเปรียบเทียบผลการทดลองในแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบ
สนองทางสรีรวิทยาและแนวทางชีวกลศาสตร์

		3 ครั้ง/นาที		6 ครั้ง/นาที	
		สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.	สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.
5 กก.	%VO ₂ max	21.40	21.41	25.19	28.41
	RPE	9	10	8.5	9
	โมเมนต์	1625.7	1481.4	1750.4	1663.1
	แรงกดอัด	320.3	292.9	340.1	323.4
12 กก.	%VO ₂ max	24.44	23.68	37.32	40.35
	RPE	12	12	12	13.5
	โมเมนต์	2045.4	2003.5	1961.9	1945.3
	แรงกดอัด	420.86	399.8	409.2	374.3
25 กก.	%VO ₂ max	31.45	37.51	46.60	50.20
	RPE	15	16	14	15
	โมเมนต์	2832.5	2572.9	2590.3	2638.5
	แรงกดอัด	579.9	502.4	543.6	545.3

ความแตกต่างของผลการทดลองในแนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยาและแนวทางชีวกลศาสตร์ดังกล่าวเป็นผลเนื่องมาจากการที่แนวทางชีวกลศาสตร์มุ่งที่จะลดน้ำหนักของการยกลงโดยที่เพิ่มความถี่ของการยกให้มากขึ้น ในขณะที่แนวทางการใช้เกณฑ์การตอบสนองทางสรีรวิทยานั้นมุ่งที่จะให้ลดความถี่ของการยกลงโดยที่ยอมให้น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (Garg และ Herrin, 1979)

สำหรับผลการเปรียบเทียบผลการทดลองในแนวทางจิตฟิสิกส์เพื่อพิจารณาว่าค่าน้ำหนัก MAW ที่ผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2 เลื่อนนั้นเป็นการยกที่ก่อให้เกิดแรงกดอัดบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างเกินขีดจำกัดความปลอดภัยทางชีวกลศาสตร์หรือไม่นั้น ผลของค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นขณะยกของที่น้ำหนัก MAW ในการทดลองแนวทางเชิงจิตฟิสิกส์นั้นแสดงได้ในตารางที่ 4.14 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าน้ำหนัก MAW ที่ผู้ถูกทดสอบเลือกส่วนใหญ่เป็นน้ำหนักที่มีค่าแรงกดอัดต่อบริเวณกระดูกสันหลังส่วนล่างที่สูงกว่าขีดจำกัดความปลอดภัยที่กำหนดไว้โดยวิธีทางชีวกลศาสตร์ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในงานวิจัยนี้ใช้ผู้ทดสอบเพียงหนึ่งคนในการทดลองเชิงชีวกลศาสตร์เท่านั้น จึงควรต้องมีการขยายขอบเขตการศึกษาให้ครอบคลุมจำนวนประชากรให้มากกว่านี้ในอนาคต

ตารางที่ 4.14 ผลของการเลือกค่าน้ำหนัก MAW ที่ได้จากการทดลองแนวทางจิตฟิสิกส์ และผลของค่าโมเมนต์และค่าแรงกดอัดที่เกิดขึ้นของผู้ถูกทดสอบหมายเลข 2

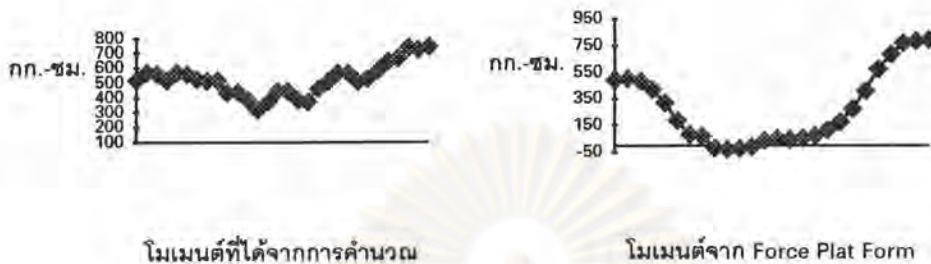
	3 ครั้ง/นาที		6 ครั้ง/นาที	
	สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.	สูง 75 ซม.	สูง 125 ซม.
MAW (กก.)	14.63	16.38	19.00	16.13
โมเมนต์ (กก.-ซม.)	2154.1	2194.3	2380.2	2254.9
แรงกดอัด (กก.)	418.6	436.2	464.9	452.4

4. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบแผนการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เนื่องจากการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้อาศัยแบบแผนการคำนวณหาโมเมนต์ที่เสนอโดย Muth, Ayoub and Gruver (1978) ซึ่งตั้งข้อกำหนดต่างๆ เพื่อความสะดวกในการคำนวณไว้คือ กำหนดให้ร่างกายของมนุษย์ประกอบไปด้วย 5 ส่วนสำคัญคือ แขน ส่วนล่าง แขนส่วนบน ลำตัวและศีรษะ ขาส่วบน และขาส่วนล่าง โดยที่แต่ละส่วนต่างๆ ของร่างกายสมมติให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วธรรมชาติของร่างกายมนุษย์มีความซับซ้อนไปกว่าข้อกำหนดดังกล่าวมากนัก ดังนั้นเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของแบบแผนการคำนวณดังกล่าว ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการวัดค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นจริงบริเวณข้อเท้าในขณะที่ทำการยกของโดยใช้เครื่อง Force Platform วัดและบันทึกค่าโมเมนต์ที่เกิดขึ้นตลอดช่วงการยกเพื่อเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ที่คำนวณโดยใช้หลักการของชิ้นส่วนร่างกายอิสระ (Free Part Body) ที่ใช้คำนวณในงานวิจัยนี้

ในการทดสอบความถูกต้องนี้กำหนดให้มีการทดลองทำการยกของบน Force Platform โดยกำหนดให้ผู้ถูกทดสอบทำการยกตุ้มเหล็กมาตรฐานหนัก 10 กิโลกรัมจากแนวระดับพื้นขึ้นไปวางบนโต๊ะซึ่งมีความสูง 100 เซนติเมตร ภาพถ่ายตลอดช่วงการยกจากวิดีโอที่บันทึกจะถูกนำไปคำนวณหาค่าโมเมนต์ที่ข้อเท้าโดยใช้หลักการของชิ้นส่วนร่างกายอิสระเช่นเดียวกันกับหลัก

การตามทีที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 1 ข้างต้นเพื่อเปรียบเทียบกับโมเมนต์ที่ได้จาก Force Plat Form ซึ่งผลของการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 โมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้แบบแผนการคำนวณที่ใช้ในงานวิจัยนี้และโมเมนต์ที่ได้จาก Force Plat Form

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้พบว่าค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณและจาก Force Platform จะใกล้เคียงกันเฉพาะในช่วงต้นของการยกคือช่วงที่ยกของพื้นพื้นถึงหัวเข่าและช่วงปลายของการยกคือช่วงขณะโน้มตัวยื่นมือไปวางของบนพื้นโต๊ะ ซึ่งธรรมชาติของการยกของในช่วงดังกล่าวร่างกายจะมีการเคลื่อนไหวที่ช้า ส่วนที่ช่วงกลางของการยกคือขณะที่ยกพื้น ความสูงระดับหัวเข่าจนกระทั่งลำตัวลุกยึ้นนั้น ร่างกายจะมีการเคลื่อนไหวที่เป็นพลวัตมาก ดังนั้นค่าที่ได้จาก Force Platform จึงมีผลจากความเร่งเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ในขณะที่การคำนวณโดยวิธีพลวัตแบบแฝงที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลจากปัจจัยความเร่งดังกล่าว ดังนั้นจึงพบว่าในช่วงกลางของการยกค่าโมเมนต์ที่ได้จากการคำนวณจึงต่างจากค่าโมเมนต์ที่ได้จาก Force Platform จากผลดังกล่าวอาจกล่าวได้ว่าแบบแผนการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ในงานวิจัยนี้มีความถูกต้องเมื่อใช้ประเมินค่าในงานที่มีสภาพงานแบบสถิตหรือมีการเคลื่อนไหวที่ช้า ในขณะที่หากนำไปใช้กับงานที่มีลักษณะพลวัตมากๆ แล้วจะพบความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้

อย่างไรก็ตามโดยหลักการของการคำนวณโดยวิธีพลวัตแบบแฝงที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาค่าโมเมนต์วิกฤติซึ่งเป็นโมเมนต์ที่เกิดขึ้นสูงสุดในช่วงการยกซึ่งจากการทดลองในงานวิจัยนี้พบว่าโมเมนต์วิกฤติที่ได้นั้นทุกการทดลองเกิดขึ้นในช่วงต้นของการยกทั้งสิ้น กล่าวคืออยู่ระหว่างช่วงการยกของขณะพื้นพื้นถึงการยกก่อกองในแนวระดับความสูงไม่เกินหัวเข่าซึ่งธรรมชาติของร่างกายมีการเคลื่อนไหวที่ไม่เป็นพลวัตมาก ดังนั้นการนำแบบแผนการคำนวณทางชีวกลศาสตร์ที่เสนอโดย Muth, Ayoub และ Gruver (1978) ดังกล่าวมาใช้

ประเมินค่าไมเมนตีวิกฤตติตลอดช่วงของงานยกของในงานวิจัยนี้จึงเป็นที่คาดหมายว่าจะมีความถูกต้องได้ในระดับหนึ่ง แม้ว่าจะมีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากลักษณะสภาพของงานซึ่งเป็นพลวัตรวมถึงร่างกายมนุษย์ที่โดยสภาพความเป็นจริงแล้วมิได้เป็นวัตถุแข็งเกร็งเหมือนกับที่ได้ตั้งข้อสมมติไว้ก็ตาม



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย