

악력의 인간공학적 평가를 위한 접근 방법

— 들기 작업 자세의 경우 —

An Approach to Ergonomics Evaluation of Grip Strength

— Case by the Manual Lifting —

양 성 환* · 갈 원 모** · 박 범***

S.H. Yang · W.M Kal · P. Park

(1997년 9월 7일 접수, 1997년 12월 12일 채택)

ABSTRACT

Manual lifting techniques are commonly defined in terms of the postures adopted at the start of the lift. Quantitative definition is problematic, however, because the absolute joint angles adopted to lift an object are influenced by task parameters, such as the initial height of the load. The main objective of this study is to investigate the grip strength of the both hands at the initial lifting points. The survey is conducted by measuring the compression force, anthropometric data and grip strength at the lifting postures for the subjects(n=50) who is assigned to their job as usual. The experiment is performed at the four lifting postures which involving the combination of two horizontal factors(H1: 35 cm, H2: 55 cm) and two vertical factors(V1: 20~80 cm, V2: 47~102 cm). The analysis result of lifting posture indicated that each H1-V1, H2-V1 combinations are about 60° and each H1-V2, H2-V2 combinations are about 30°. There are significant differences on grip strength between 60° and 30° stooped posture.

The results of this study can be provided a method defining lifting postures at the minimum grip strength. Also, it is eliminated a hazard of the injuries which are cumulative trauma disorders(CTDs) and back pain, increased a productivity and improved a welfare of workers.

* 만도기계(주) 환경안전팀

** 서울보건전문대학

*** 아주대학교 기계 및 산업공학부

1. 서론

최근의 대부분의 작업장에서는 생산성의 향상을 위해 노력하는 동시에 한편으로는 산업 안전과 재해 방지를 위해 노력을 기울이고 있다. 여러 가지 직업적인 재해 중에서 Back pain의 비중이 점점 크게 증가하고 있으며, Back pain의 원인 중에 하나인 Lifting에 대한 연구로 작업자의 안전을 유지할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 그러므로, 인간에게 가장 적합한 작업 자세를 취하도록 하는 것이 안전과 재해를 방지하는 가장 기본적인 대안이 될 수 있다.

이를 위해 생체역학(Biomechanics)적 연구가 필수적으로 수행되어야 하는데, 이 중근력 측정 자료는 (1) 무거운 물건의 운반, (2) 수동작업 계기설계, (3) Carts 등의 운전등에 필수적으로 이용된다⁸⁾. 작업자의 최대 악력은 작업을 수행하는 작업자의 능력을 결정하고 전체 작업자들의 악력의 세기는 작업집단의 능력을 결정 짓는다.

1000명 이상의 남자 작업자들을 대상으로 한 조사에서 대략 60%의 성인들이 일생 동안에 적어도 한번 이상의 요통을 호소하고, Back pain은 직업 재해의 가장 많은 부분을 차지하고 있다는 사실이 알려져 있다.

본 연구의 대상이 된 자동차 부품 중 브레이크를 제조하는 생산 공정의 1997년도 6월까지의 재해 조사결과 1527명 중 46건의 재해가 발생했으며, 상해 부위별 재해발생 현황을 보면 전체 재해중에서 45.65%가 허리에 무리한 통증이 있는 것으로 나타났다. 이는 반복적인 운반작업 및 작업 준비 불충분에 원인이 있는 것으로 나타났다. 재해비용은 353,250천원으로 '97년 6월까지 매출액(122,583백만원)의 0.25%를 차지하는 것으로 나타났다. 발생 형태는 중량물 취급 및 불안전 작업자세에서 기인한 무리한 행동에 의한 것이 전체 69.8%를 차지했으며, 기인물로는 예상 대로 기계설비가 전체 28.26%를 차지했다. Fig. 1은 상해 부위별 재해 발생 현황을 나타낸 것이다.

어깨와 팔꿈치 각도들이 악력에 상당한 영향을 미치며, 135° 굴곡 된 팔꿈치의 악력은 90°와 180°의 팔꿈치에서의 것과 상당히 다르게 나타

났으며, 최대 악력은 0° 외전 된 어깨, 135° 굴곡 된 팔꿈치, 정 위치의 손목의 조합에서 발생한다⁷⁾. 작업자의 최대 악력수준을 넘는 무리한 힘이 요구되는 동작이나 반복작업은 누적외상병(CTDs)의 일종인 수근관증후군(CTS)을 유발하는 원인이 된다¹⁰⁾.

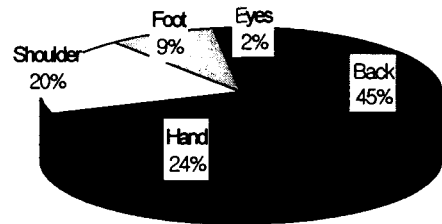


Fig. 1 Injury rate by harm bodies

최대 악력의 자세는 선 자세에서 팔꿈치 각도가 180°일 때이며, 성별, 좌우손별 악력의 크기는 유의한 차가 있으며, 연령이 증가할수록 악력은 작아지는 것으로 나타나고, 나이, 몸무게, 키, BSA(Body Surface Area), 앞팔길이, 손길이, 손목두께, 손목둘레, 손목너비 등이 악력의 크기에 영향을 미친다⁴⁾.

악력이 이러한 중요성이 있고 산업현장에서 유용한 자료가 됨에 비하여 우리나라에서의 기존 연구들은 아직 현장의 다양한 자세, 특히 Lifting 자세에 적용하기에 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구는 H(Horizontal; 35 cm, 55 cm), V(Vertical; 20 cm, 47 cm)을 조합한 작업 자세에서 최대의 악력을 측정하고, 이 때 W(Weight; 10 kg, 25 kg)의 무게를 드는 작업에 대한 요추부하를 계산하고, 요배근력을 측정하여 자세별 악력의 크기에 영향을 미치는 신체 조건을 조사하였다. 또한, 생산직의 Health 동호회 회원과 비 회원간을 비교하여 차이 분석을 실시하였다.

2. 실험

악력은 손의 쥐는 힘과 아래 팔의 근력을 측정하는 것으로 측정 자세 및 방법이 규정되어 있지만, 본 연구는 자세별로 악력을 측정하는 것이 목적이다.

2.1 피실험자

피실험자 집합은 50명의 제조업체 종업원(생산직 Health 동호회 회원; 21명-Group 1, 비회원; 29명-Group 2)으로, 나이 22~56세의 남자로 구성되었으며, 이들 모두에게 실험에 대한 충분한 교육을 실시한 후에 실험을 진행했다. 두 Group의 경우 현재 각 부서에서 Lifting에 관련된 업무를 하고 있는 집단이며, Group 1의 경우 Health 경력이 2.62년이다.

2.2 실험 장비

악력은 JAMAR사의 Hand Dynamometer를 이용하여 각각 3회씩 측정한다. 요배근력을 BACK-D라는 장비를 사용하여 측정하였다. 이것의 범위는 20~300 kgf까지, 측정 정확도는 $\pm 3 \text{ kgf}$ in 150 kgf로 측정이 가능하며, 휴대용으로써 어느 장소에서든지 측정할 수 있다. 신체 각도는 Penny+Giles의 Goniometer를 이용하여 측정하였다. 이것은 Analogue output(nominal)은 $-180^\circ \sim 180^\circ$, 정확도는 1%이다. 신체 각 부위는 Martin식 인체 측정 Set을 이용한다.

2.3 실험 방법

Lifting을 시작하는 순간에 L_5/S_1 관절에 최대의 압력이 걸리므로 측정의 편의를 위하여 본 실험은 작업 시간 순간만을 정적으로 고려하였다.

실험은 Fig. 2에 나타난 것처럼 정해진 H, V, W를 변화시켜 가면서 그 조합에서 θ 각도를 측정하고, 이때 악력을 측정하였다. 또한, θ 가 30° 인 상태에서 요배 근력치를 측정한다. Fig. 3은 Grip strength와 Goniometer를 이용하여 Angle을 측정하는 실험 그림을 나타낸 것이다.

생체역학적 실험을 위해 특히, Grip strength를 측정하기 위해 신장, 체중, 손길이, 엄지 손가락 길이, 손너비 등을 Martin식 인체 측정기를 이용하여 측정한다. 좌우 손별의 차이 분석을 위해 T-test를 실시하여 분석하고, 각 Group 별 조사 분석을 통해 자세별 Grip strength의 차이를 분석한다.

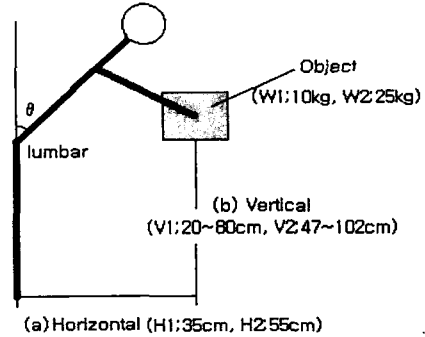


Fig. 2 Experiment Design

3. 실험 결과

Martin식 인체 측정기를 통해 측정된 피실험자들에 대한 기본적인 측정 결과로 평균 신장은 168.48 cm, 체중은 68.59 kg이고, 손가락 길이는 18.65 cm, 엄지 손가락의 길이는 6.47 cm, 손 너비는 8.88 cm로 나타났다. Anthropometric data는 Table 1에 잘 나타나 있다.

Table 1 Anthropometric data of subjects

	Height	Weight	Hand Length	Thumb Length	Hand Breadth
Mean	168.48	68.59	18.65	6.47	8.88
Deviations	33.44	61.56	1.11	0.15	0.12
5%	158	56.03	16.81	5.9	8.34
95%	175.9	79.5	20	7	9.4

피실험자에 대한 조사 결과를 Group 1, Group 2로 나누어 Table 2에 나타내었다. 요배 근력의 경우, Group 1, Group 2 모두 3회 측정에 대한 차이 분석 결과 아무런 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러므로 모든 자료를 통합한 최대 요배 근력은 124.22 kgf로 조사되었다. 각 자세별 각도를 측정된 결과, H1-V1, H2-V1 조합의 Lifting 시작 각도는 60° 에 근사하고, H1-V2, H2-V2의 경우는 30° 에 근사한다. 총 평균 연령은 31.3세, 평균 근무 기간은 6.74년으로 나타났다.

Table 2의 각 조합의 각도들은 Grip strength를 측정된 60° , 30° 와 일치하는 것으로, 각도는 Horizontal factor보다 Vertical factor에 영향을

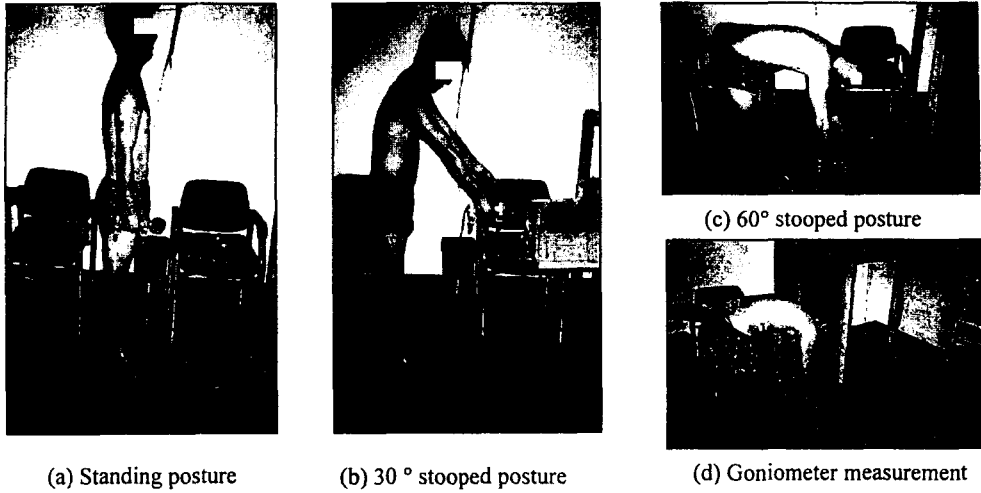


Fig. 3 Picture of Experiment for Grip strength & Goniometer Measurement

받는 것으로 나타났다. 각도가 같은 좌우손 각각은 서로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고, $\alpha=5\%$ 에서 좌우손별 차이를 T-test한 결과로 60°의 경우, $p=0.33$ 으로 Grip strength에 유의한 차가 없는 것으로 나타났고, 30°에서도 $p=0.051$ 로 Grip strength에 유의한 차가 없는 것으로 나타났다.

Table 2 Compare with summary data by Group

	Group 1		Group 2		F	P
	Mean	Deviation	Mean	Deviation		
Compression force	124.27	611.94	124.18	404.57	0.0004	0.9834
H1-V1(angle)	53.12	98.86	55.05	34.15	0.5563	0.4606
H1-V2(angle)	31.29	78.72	34.43	30.46	1.7782	0.1907
H2-V1(angle)	54.41	141.76	57.81	35.36	1.3123	0.2595
H2-V2(angle)	35.53	92.89	38.67	14.73	1.8692	0.1800
Grip Strength (60°, right)	52.78	22.07	52.93	48.57	0.0073	0.9322
Grip Strength (60°, left)	51.88	20.79	51.54	43.03	0.0380	0.8462
Grip Strength (30°, right)	46.19	28.38	47.21	54.01	0.2846	0.5962
Grip Strength (30°, left)	43.36	26.49	44.89	42.77	0.7655	0.3862
Age	28.76	-	33.14	-	-	-
Duty years	5.48	-	7.66	-	-	-

자세별 요추 부하 계산은 Revised NIOSH lifting equation(1991)의 식(1), 식(2)를 이용하며, LI(Lifting Index)<1인 자세는 수용할 수 있는 들기 자세로 판정한다. 각각의 HM(Horizontal Multiplier), VM(Vertical Multiplier), DM(Distance Multiplier), FM(Frequency Multiplier), AM(Asymmetric Multiplier), CM(Coupling Multiplier)의 Table 3에 분석 결과와 함께 나타내었다. 분석 결과 H1-V1, H1-V2의 자세에서 10 kg의 무게를 들 때, 0.8973, 0.7925로 LI의 값이 1보다 적은 자세로 나타났고, 특히 Vertical Factor보다는 Horizontal Factor에 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다.

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM$$

$$\dots\dots\dots (1)$$

$$LI = W/RWL \dots\dots\dots (2)$$

각 자세별(H1-V1, H2-V1의 조합-60°, H1-V2, H2-V2의 조합-30°)로 좌우손에 대한 Grip strength T-test 분석결과 $p=0.0000082$ 로 매우 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 각 자세에 따라 Grip strength의 차이가 발생하므로 Grip strength가 가장 큰 위치에 대상물을 배치하는 것이 필요하다. 이는 앞에서 조사한 초기 들기 자세에서 LI가 1이하 H1-V1과도 일치하는 자세다.

Table 3 Compression force at the L₅/S₁

	III-V1	III-V2	II2-V1	II2 V2	
LC	23 (kg)				
IIM	0.69 (35 cm)		0.45 (55 cm)		
VM	0.84(20)	0.93(47)	0.84(20)	0.93(47)	
DM	0.88(60)	0.9 (55)	0.88(60)	0.9 (55)	
FM	1 (V < 75 cm, 0.1 lift min)				
AM	1 (0°)				
CM	0.95 (fair)				
RWL	11.145	12.619	7.2682	8.2298	
LI	10 kg	0.8973	0.7925	1.3759	1.2151
	25 kg	2.2432	1.9811	3.4396	3.0377

4. 결론

요추 부하가 적으면서 Grip strength가 가장 큰 자세는 Horizontal-35 cm, Vertical-20 cm, Weight-10 kg인 자세에서 가장 큰 것으로 나타났다. 좌우손별 Grip strength는 이동춘 외 (1997)의 연구에서 차이가 있는 것으로 나타났으나, 본 연구에서는 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 요배근력의 차이가 있을 것으로 예상했던 두 Group, 즉 2.63년의 운동 경력을 가진 Health 동호회 회원과 비회원간의 요배근력의 차이는 없는 것으로 나타났다. 이것은 Health 회원들이 하고 있는 운동이 요배근력을 강화하는 것은 아님을 시사하고 있다.

차후 연구 과제로써 Standing posture을 중심으로 다양한 Horizontal, Vertical Factor를 변화시켜 차이 분석을 통해 현장에 적용할 수 있는 최적의 작업 자세를 선정하는 것이 무엇보다 요구되며, 제조업 종사자들이 허리 근육을 자주 사용하고 있지만, 그 근육을 강화하는 운동은 전혀하지 않고 있으므로, 이들에게 요배근력을 강화할 수 있는 운동법으로 운동을 하게하는 제안이 필요하다.

참 고 문 헌

1) Edward L.Fox, 스포츠 생리학, 남양 문화

사, 1987.

2) Rolf Wirhed, 움직임 때 변화하는 동작, 해부학, 형설출판사, pp. 119~131, 1994.

3) 김진호, 박세진, 김철중, "한국 청년의 근력 특성에 관한 연구", Journal of the Human Engineering Society of Korea, Vol. 8, No. 1, pp. 37~45, 1989.

4) 이동춘, 상규표, "한국성인의 악력특성분석에 관한 연구", Journal of the Ergonomics Society of Korca, Vol. 16, No. 1, 1997.

5) 황도연, 박경수, "입식과 좌식 작업 자세가 L₅/S₁ Disc의 하중에 미치는 영향", Journal of the Human Engineering Society of Korea, Vol. 11, No. 2, pp. 3~13, 1992.

6) A. Mital, A.S. Nicholson and M.M. Ayoub, A Guide to Manual Materials Handling, Taylor & Francis, pp. 28~58, 1997.

7) Bheem P. Kattel, Tycho K. Federicks, Jeffery E Fernandez, Dong C. Lee, "The Effect of upper extremity posture on maximum grip strength", International Journal of Industrial Ergonomics, 18, pp. 423~429, 1996.

8) D.B. Chaffin, "Ergonomics Guide for the assessment of Human Static Strength", American Industrial Hygiene Association Journal, July, 1975.

9) D.B. Chaffin, "Occupational Biomechanics", John Wiley & Sons, Inc., pp. 215~239, 302~334, 1991.

10) Fredericks, T.K., Kattel, B.P., Fernandez, J.E., "Is grip strength maximum in the neutral posture?", Advances in Industrial Ergonomics and safety VII, Edited by A.C. Bittner and P.C. Champney, Taylor & Francis, pp. 561~568, 1995.

11) Robin Burgess-Limerick and Bruce Abernethy, "Toward a Quantitative Definition of Manual Lifting Postures", Human Factors, 39(1), pp. 141~148, 1997.