작업자세와 Push-Pull 작업에 따른 작업부하 측정에 관한 연구
The Study of Work Load by the Working Posture and the Push-Pull Work

심 정 훈*
Sim, Joung Hoon
이 상 도*
Lee, Sang Do

Abstract

This study performed to evaluated musculoskeletal disorders(MSDs) during sitting work. The musculskeletal system is affected by various work factors such as strength, weight, posture, repetition, duration and exertion. Ergonomic study on sitting work is necessary to evaluate these factors affecting human body.

But the strength and work load data by the work factors are insufficient in Korea. Therefore, this study evaluated the work load using the electromyogram(EMG) and measured the arm strength by arm posture and push pull work during sitting work. to evaluated muscle load, the vertical height and horizontal angle of arm were adjusted around acromion. And EMG data were recorded on pc during the test.

1. 서 론

효과적인 작업장, 장비 그리고 공구를 설계하고 작업자를 잠재적인 상해로부터 보호하기 위해서는 작업강도의 물리적인 능력이 반드시 파악되어야 한다. 특히 작업자의 힘 발휘 능력들(Strength exertion capabilities)은 이러한 설계 및 상해 예방을 위한 중요한 요소 중의 하나이다[1]. 또한 작업자의 힘 발휘 능력들은 생체역학과 생리학에 상당한 영향을 미쳤으며, 인간공학 분야에 있어서도 상당한 중요성을 가져왔다[2].

* 심정훈, 동아대학교 산업시스템공학과,
FAX) 051-200-7697, e-mail : jhsim@smail.donga.ac.kr

이러한 작업자의 힘 발휘 능력 중 push-pull strength는 다양한 업종에서 반복적으로 수행되고 있으며, 또한 NIOSH에 따르면 과도한 힘 발휘에 의한 상해의 거의 20%가 push-pull 활동에 의해 설명되고 있으며, 그로 인한 직업적 상해 보상액의 약 5%에 해당한다고 보고하고 있다[3]. 그러나 이러한 과도한 힘 발휘에 의한 상해에 있어 push-pull 활동의 정확한 영향 정도의 문제가 분명하지 않더라도 이론적으로 전보다 증가되고 있는 것으로 해석되고 있으며 그러한 push-pull 작업들의 일반적인 현상에도 불구하고 이 분야에 대한 데이터들은 여전히 부족한 실정임에도 불구하고 작업자의 힘 발휘 능력에 대한 연구들은 몸무게, 힘 적용의 높이, 몸과 힘의 위치 사이의 거리, 바닥과 신발사이의 마찰 계수, 신체 구성요소에 대한지지, 힘 발휘의 빈도 그리고 자세와 같은 다양한 변수들에 대한 영향이 연구되어 왔다[4]. 이러한 연구들을 살펴보면 주로 입식작업(Standing work) 자세에서 양손을 사용한 push-pull strength 측정을 통한 MMH(Manual Material Handling)시의 작업부하 측정에 관심을 가져온 반면 좌식작업(Sitting work) 및 한 손을 사용한 push-pull strength 측정에 관한 연구는 더욱 부족한 실정이다. 이는 오늘날 대부분의 작업들이 좌식 작업화 되어 감에 따라 이에 대한 연구들이 필요함을 보여주고 있다. 기존의 연구들을 살펴보면 Kothiyal과 Kayis는 좌식작업하에서 물자취급을 통한 작업장 배치에 대하여 근전도(Electoromyogram)을 통하여 작업장 배치를 평가하였으며, Strasser와 Müller는 근전도와 주관적 불편도를 통하여 좌식작업시의 선호도에 따른 팔의 움직임 동작을 평가하였으며 또한 Stasser 등은 좌식 수동 취급 작업의 수평면에 대한 움직의 방향과 작업비율 그리고 부하의 크기를 고려하여 작업을 평가를 연구하였으며, 그리고 Mital 등은 좌식작업하에서 시상면을 기준으로 전후 부하를 이동시키기 위한 최대 수용 빈도수에 대한 연구를 수행하였다[5][6][7][8]. 그러나 좌식작업시에 대한 근골격계 상해 예방을 위한 이러한 연구들은 주로 작업자세에 초점을 맞춘 작업부하 평가에 역점을 두고 있으나, 힘의 발휘 형태 즉 push-pull-up-down에 따른 기초적인 작업자의 발휘 힘의 능력에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 좌식작업(Sitting Work)시 발생하는 근골격계 장애(Musclursketel Disorders : MSDs)에 가장 중요하게 영향을 미치는 근력 또는 무게(strength or weight), 자세(posture), 반복수(repetition), 지속시간(working duration) 등의 요인들 중 작업자세와 근력을 중심으로 좌식작업에 따른 push-pull 작업시에 동원되는 근육의 사용정도를 근전도(Electromyogram : EMG)를 이용하여 평가하고, 이를 통한 기본적인 기초 데이터 및 가이드 라인을 제시하고자 한다.

2. 연구 방법 및 절차

2.1 피실험자 및 실험기기

피실험자는 신체 상지의 상해 및 장애가 없는 남자 대학생 5명을 선정하였으며, 평균 나이는 27.5세이며, 기본적인 인체계측 데이터는 Table 1과 같다. 피실험자는 실험 전에

실험목적에 대한 충분한 내용을 전달받은 후, 실험방법 및 절차에 대하여 충분히 숙지하도록 하였다.

최대 push-pull 근력을 측정하기 위하여 John Chatillon & Sons사의 모델 DHHP 100을 사용하였으며, 측정범위는 100lbf×1.0lbf이고 정확도는 전체 스케일의 ±1.0%이다. 또한 EMG 데이터는 NORAXON사의 MYOSOFT EMG software을 사용하여 표면전극으로부터 S-rate 1024Hz로 신호를 획득하여 Bandpass filter(10-512Hz)를 사용하여 필터링을 하였다.

Table 1. 인체측정 항목 및 평균

측정항목	평균	측정항목	평균
몸무게	70.55	어깨점 손끝 길이	70.75
신장	174.15	위팔 길이	25.97
앉은키	93.30	쥐기거리	60.53
어깨높이	141.33	아래팔 길이	24.18
앉은어깨 높이	63.10	위팔 둘레	28.17
팔굽힌팔꿈치높이	109.70	아래팔 둘레	27.53
앉은팔굽힌팔꿈치높이	30.00	손목 둘레	6.67

2.2 실험변수 및 실험절차

실험에 사용된 독립변수로는 쥐기거리(Grip Distance)의 3수준(100%, 50%, 25%), 쥐기높이(Grip Height)의 2수준(shoulder & elbow height) 그리고 어깨의 회전각도(Shoulder Angle)의 4수준(0° , 45° , 90° , 135°)의 조합으로 구성되며, 종속변수로서는 6초 동안 지속된 최대 자발적 수축((Maximum Voluntary Contraction : MVC)에 의해 발휘된 Push-Pull Strength값, 근육별 EMG의 RMS(Root Mean Square)값이 이용된다. 따라서 피실험자 1명이 총 48회의 실험조합을 수행하게 되며, 실험은 각 독립변수 조합에 따라 랜덤하게 실시하게 된다. 실험변수는 Table 2와 같다.

피실험자는 기본적인 인체계측치를 측정한 후, 앉은 자세에서 팔을 곧게 뻗어 어깨높이와 팔꿈치 높이에서 최대 쥐기 위치를 어깨점과 상완골의 외측상과를 기준으로 어깨 내향, 외향에 따라 각도별로 측정하게 되고, 이를 바탕으로 어깨높이와 팔꿈치 높이에서의 최대 쥐기 위치에 대하여 50%, 25%에 해당하는 인체계측치를 측정하게 된다. 기본적인 자세측정이 끝난 후 EMG(Electromyogram)을 측정하기 위하여 근육에 표면전극(electrode)를 부착한다. 전극의 부착 근육은 요측수근굴근(Flexor carpi radialis), 척측수근굴근(Flexor carpi ulnaris), 상완이두근(Biceps brachii muscle), 상완삼두근(Tricep brachii muscle), 그리고 삼각근(Middle deltoid)의 5개의 근육이 이용되었다. 전근의 부착이 끝나면 피실험자는 팔과 몸통이 고정된 상태로 Arm Strength Tester기에 위치하여 앉게 된다.

Table 2. 실험변수 및 실험수준

실 험 변 수	실 험 수 준
독립변수 (independent variables)	1. 작업방법(Method) : A1=Push, A2=Pull 2. 쥐기높이(Grip Height) : B1=Shoulder Height, B2=Elbow Height 3. 쥐기거리(Grip Distance) : C1=25%, C2=50%, C3=100% 4. 어깨각도(Shoulder Angle) : D1=0° , D2=45° , D3=90° , D4=135° 5. EMG 측정위치(EMG Point) : E1=요측수근굴근, E2=척측수근굴근, E3= 상완이두근, E4=상완삼두근, E5=삼각근
종속변수 (dependent variables)	1. Strength Value 2. RMS(Root Mean Square)

본 실험이 시작되면 피실험자는 각 변수조합 상태에서 먼저 휴식상태의 EMG (EMGrest)값을 먼저 측정한 후, 5초 동안 최대 자발적 수축(Maximum Voluntary Contraction : MVC)를 발휘하게 된다.

실험은 2회 반복하게 되며 각 반복간에는 적어도 30초 이상의 휴식 시간이 제공되며 각 조합수준 간에는 피실험자의 요구에 따라 충분한 휴식시간을 제공하였다.

3. 실험결과 및 분석

Push-Pull 게이지를 통하여 파운드(lb) 단위로 측정된 데이터는 kgf 단위로 환산된 후, SAS 통계 패키지를 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였다. 그 결과는 Table 3과 4와 같다. Push작업에 대해서는 쥐기높이와 어깨각도의 주효과가 유의적으로 나타났으며($p<0.01$), 또한 쥐기거리와 어깨각도에서 교호작용이 유의적으로 나타났다($p<0.01$). Pull 작업에 대해서는 쥐기거리와 어깨각도의 주효과만 유의적으로 나타났다($p<0.01$)

Table 3. Push 작업에 대한 ANOVA분석 결과

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr > F
B	1	20.30543	20.30543	6.86	0.0094
C	2	10.44568	5.222842	1.77	0.1736
B*C	2	2.21385	1.106925	0.37	0.6883
D	3	83.04363	27.68121	9.36	0.0001
B*D	3	7.773853	2.591284	0.88	0.4544
B*D	6	47.90833	7.984721	2.7	0.0151
B*C*D	6	11.28985	1.881642	0.64	0.7014

Table 4. Pull 작업에 대한 ANOVA 분석 결과

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr > F
B	1	0.296593	0.296593	0.04	0.8394
C	2	84.96059	42.4803	5.9	0.0032
B*C	2	16.48272	8.241358	1.14	0.3206
D	3	76.24001	25.41334	3.53	0.0158
B*D	3	10.70083	3.566945	0.5	0.6861
C*D	6	23.99074	3.998457	0.55	0.7659
B*C*D	6	50.20395	8.367324	1.16	0.3283

필터링을 거치 EMG 원데이터는 RMS 값으로 변환되었으며, 근육별 작업에 따른 부하 정도의 차이를 알아보기 위하여 정규화 하였다. Table 5와 6은 정규화를 거친 EMG 데이터를 작업방법(Push, Pull)에 따라 ANOVA 분석한 결과이며, 유의하지 않는 인자는 풀링되었다. Table 4와 5의 결과를 살펴보면, push의 경우 모든 인자에 대하여 유의적인 것으로 나타났으며(p<0.01), 각각 B*C, B*E, C*E, D*E의 교호작용이 유의적인 것으로 나타났다(p<0.01). Pull의 경우에는 B, C 인자에 대해서만 유의적으로 나타났으며(p<0.01), B*C, B*E, C*E의 교호작용에 대해서도 유의적으로 나타났다(p<0.01)

Table 5. Push 작업에 따른 EMG ANOVA

Source	DF	Sum of Square	Mean Square	F Value	Pr > F
B	1	1.273072	1.273072	28.51	0.0001
C	2	3.877036	1.938518	43.41	0.0001
D	3	0.531515	0.177172	3.97	0.0081
E	4	2.66632	0.66658	14.93	0.0001
B*D	2	0.438398	0.219199	4.91	0.0076
B*E	4	4.362912	1.090728	24.42	0.0001
C*E	8	1.549618	0.193702	4.34	0.0001
D*E	12	2.710981	0.225915	5.06	0.0001

Table 6. Pull 작업에 따른 EMG ANOVA

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
B	1	0.564088	0.564088	13.69	0.0002
C	2	1.484185	0.742093	18	0.0001
D	3	0.257032	0.085677	2.08	0.1017
E	4	0.431964	0.107991	2.62	0.0340
B*C	2	2.7749	1.38745	33.66	0.0001
B*E	4	6.091427	1.522857	36.95	0.0001
.C*E	8	4.654574	0.581822	14.12	0.0001

4. 결 론

본 연구에서는 좌식작업하에서 push-pull 작업에 따른 다양한 자세에 관한 근력 및 근육의 사용정도를 살펴보았다. 그 결과 push-pull의 근력은 거리가 가까울수록 크게 나타났으며, push의 경우보다 pull의 경우가 근력이 더 큰 것으로 나타났다. normalized EMG값의 비교 분석에 있어서는 쥐기높이에서는 push-pull모두 팔꿈치높이에서 근육 사용의 정도가 큰 것으로 나타났으며, pull의 경우가 push의 경우보다 근육의 사용정도가 큰 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 최대 MVC를 통한 작업자세의 근력과 근육사용정도를 중심으로 수행되었다. 그러나 좌식작업의 경우 단순, 반복적인 작업이 일반적으로 행해지고 있으며, 장시간 동안 지속되는 경우가 많다. 따라서 기본적인 근력데이터를 바탕으로 작업 반복성과 작업지속성에 관련된 근육사용정도의 변화에 따른 신체부하의 평가가 수행되어야 할 것으로 보이며, 또한 등장성 근력(isometric strength)뿐만 아니라 등척성 근력(isokinetic strength)에 대한 다양한 좌식작업하에서의 평가가 필요한 것으로 보인다.

5. 참고문헌

[1] Mital A., and Faard H. F.; "Effects of Sitting and Standing, Reach Distance, and Arm Orientation on Isokinetic Pull Strengths in the Horizontal Plane," International Journal of Industrial Ergonomics, 6: 241-248, 1990.

[2] David M. F., Donald W. G., and Stephen T. P.; "Human Strength Capabilities during One-handed Maximum Voluntary exertions in the fore and aft plane," Ergonomics, 34(5): 563-573, 1991.

[3] NIOSH, "Work Practices Guides for Manual Lifting," U.S., D.H.S.S., Pub.: 81-122, 1981.

[4] Kumar S.; "Upper body push-pull strength of normal young adults in sagittal plane at three heights," International Journal of Industrial Ergonomics, 15: 427-436, 1995.

[5] Kothiyal K., Kayis Berman.,; "Workplace Layout for Seated Manual Handling Tasks: An Eelctromyography Study," International Journal of Industrial Ergonomics, 27; 19-32, 2001

[6] Strasser H., Müller K. W.,; "Favorable Movements of th Hand-arm System in the Horizontal Plane Assessed by Eelctromyographic Investigations and Subjective Rating," 23; 339-347, 1999.

[7] Stasser H., Keller, E., Muller, K. W.,; "Local Muscle Strain Dependent on the Direction of Horizontal Arm Movements," Ergonomics, 32(7): 899-910, 1989.

[8] Mital, A., Nicholson, A. S., and Ayoub M. M., : "A Guide to Manual Materials Handling," Taylor and Francis, London, UK; 1993.