

## 상승면상의 최대 발휘근력에 대한 연구

### A Study for Maximal Force Exertion on Upward Slopes

최재남\*·임현교\*\*  
Jae-Nam Choi·Hyeon-Kyo Lim

#### ABSTRACT

Many studies have been done to determine the magnitudes of force a man can exert on the objects. However, very little attention has been paid to those in postures on slopes.

This paper was aimed to evaluate how human work postures would affect the push/pull force and to grasp the relationships between the rectified EMG(REMG) measured at the trunk muscles and force exerted on upward slopes. Two subjects participated in the experiment.

The results showed no linear relationship between the REMG and exerted force at handle. But as the slope and handle height increased, exerted force and muscular stress on erector spinae or rectus abdominis were generally increased.

It was notified that since ANOVA did not detect any statistical significance in REMG variation due to dominant muscles, careful application and interpretation of the REMG should be required in analyzing maximal force exertions.

#### 1. 서 론

최근에는 많은 작업이 자동화로 전환되고 있지만 작업자의 근력을 이용한 수동 물자 운반행위(manual material handling activities; MMHA)는 여전히 작업현장에 산재해 있으며, 이로 인하여 요통을 일으키는 경우도 흔히 발생한다. 이러한

요통은 작업자의 순간적인 실수에 기인한다기 보다는 올바르지 못한 작업자세나 인간의 능력한계를 고려하지 않은 작업부하, 잘못된 작업공간에 그 원인이 있다<sup>1,2,3)</sup>.

특히 우리나라와 같이 작업환경이 열악한 상황에서는 그 사안의 중대성이 더욱 심각하며, 사업장에 따라서는 하역작업이나 창고에서의 적하작업

---

\* 충북대학교 대학원

\*\* 충북대학교 안전공학과

시 경사진 방향으로의 근력발휘가 불가피한 실정이다.

이러한 점에서 본 연구는 경사면에서 물건을 밀거나 당기는 작업을 대상으로, 물리적인 작업조건의 변화에 따라 작업자의 발휘근력과 주요 활동근육의 근전도 특성이 어떻게 변화하는가를 살펴보고, 이를 통해 각 작업자세가 작업자에게 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

## 2. 연구배경

밀고 당기는 작업에 대한 초기의 연구는 다양한 조건에서 작업자의 최대 허용한계(Maximal Permissible Limit; MPL)를 측정하는데 주안점을 두었으나, 그 후의 연구에서는 작업자의 신체에 무리가 오지 않는 범위내에서의 안전수용한계(Acceptable Limit; AL)를 설정하기 위하여 요선관절(the 5th Lumbar disc and the 1st Sacrum disc; L5/S1)의 압축력, 염력(torque), 마찰계수, 근전도 신호와의 상관관계를 비교하는 등의 연구가 그 주종을 이루고 있다.

최초의 밀고 당기는 직무에 대한 연구는 Gaughran와 Dempster에 의해 수행되었다<sup>4)</sup>. 이 연구에서는 체중과 모멘트 팔(moment arm) 길이의 변화가 앉은 자세에서의 발휘근력에 많은 관련이 있고, 근육의 긴장(muscle tension)을 觸診으로도 관찰할 수 있으며, 미는 직무시에는 복직근(rectus abdominis muscles)이 더 활성화한다고 보고되었다.

Strindberg 등은 심리물리학적 방법을 주로 이용하였다<sup>5)</sup>. 수레(trolleys)를 밀 때 작업자가 느끼는 힘의 정도에 관한 이 연구에서, 이들은 대략적으로 체중의 80%를 최대의 미는 힘으로 생각하였는데, 특히 130N 이상의 힘을 발휘할 때 가한 힘에 비해 작업자가 느끼는 힘의 정도가 더 크다고 결론지었다.

핸들높이와 발 거리의 변화에 따른 최대의 등척성(等尺性; isometric)으로 밀고 당기는 힘을 측정 한 연구들도 많이 수행되었다. 그 대표적인 연구 결과로 밀 때에는 핸들높이와 발 거리가 증가할수록 미는 힘이 증가하지만 당길 때는 그 반대로 나타난다고 Ayoub 등이 보고하였고<sup>6)</sup>, Chaffin등은 3가지 핸들높이(67, 109, 152cm)에서 피실험자 자신이 최대로 밀고 당길 수 있다고 생각하고 취한

자유자세에서 한 손 혹은 두 손의 최대 근력을 측정하였으며, 이때 밀고 당기는 힘에 영향을 주는 인자는 발위치, 핸들높이, 신체자세임을 지적하였다<sup>2)</sup>.

한편 Kroemer는 벽 또는 발판에 신체를 지지할 수 있는 경우, 신체의 지지여부와 자세의 변화, 작업자의 체중 등이 최대로 밀고 당기는 힘에 영향을 준다고 판단하였다<sup>7)</sup>.

최근에, Lee 등은 직립자세와 자유자세에서의 등척성으로 밀고 당기는 직무를 수행하여 얻은 자료를 근거로 생체역학적 모형을 통해 L5/S1의 압축력을 예측하였고, 근전도와 L5/S1 압축력과의 상관관계를 비교 분석하였다<sup>8)</sup>. 이 연구결과에 의하면 핸들높이와 자세는 L5/S1 압축력에 영향을 주었다.

이와 같이 이제까지는 발휘근력의 평가에 대해서 작업면이 수평인 곳에서의 핸들높이의 변화에 따른 작업자의 최대 근력을 측정하는 데 주안점을 두었다.

그러나 작업장상황에 따라서는 경사면을 따라 물건을 밀어 올리거나 당겨내리는 작업이 많이 포함되어 있으므로, 순수한 수평면에서의 근력발휘에 대한 연구뿐만 아니라 경사면에서의 근력발휘에 대한 평가가 더 현실적이라 할 수 있다.

## 3. 실험

본 실험에서 고찰된 변수들은 물리적 작업조건상의 경사각도(0, 5, 10, 15°)와 핸들높이(95, 125, 155cm)이었고, 이때 근전도 파형의 변화를 측정하였다.

실험에 이용된 기기 상호간의 연결을 개략적으로 나타내면 Fig. 1과 같다. 이들 기기는 실험을 실시하기 30분 전에 미리 가동 준비시켜 에이징(aging)을 함으로써 측정오차를 최소화하도록 하였다.

근전도는 동일근육에 있어서도 유도방법에 따라 다르며 성, 나이, 신체조건과 같은 개인적 변수에 따라서는 상당한 차이가 있어, 근전도의 대소 절대치의 피실험자간 비교는 원칙적으로 위험한 일이라 알려져 있다. 본 연구에서는 이와 같은 논리에 입각하여 피실험자내 실험(within subject experiment)으로 설정하였다.

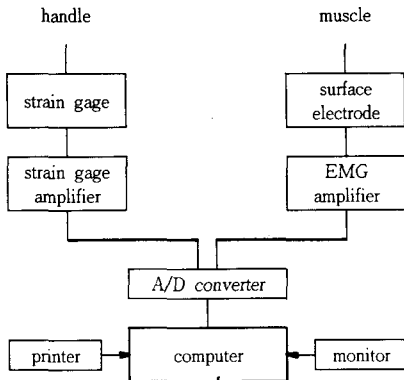


Fig. 1 Schematic diagram of experimental devices

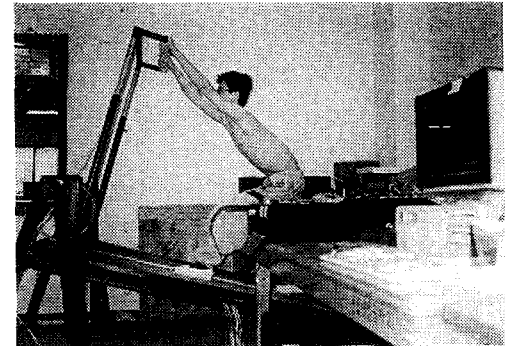


Fig. 2 Isometric push and pull in a free posture

이때 샘플링 간격은 10msec를 기준으로 하였는데, 근전도 신호는 비정상적(nonstationary) 신호이기는 하지만 단시간 구간(100ms 내외)에서는 통계적 성질이 크게 변하지 않는 정상적(stationary) 신호라 할 수 있기 때문이다<sup>9)</sup>.

일반적으로 근전도 연구에 있어서 피실험자의 최대근력은 최대 근전도 전압과 동일한 개념으로 사용되며, 이것은 근전도 전압과 발휘근력이 비례한다는 여러 연구결과에 근거한 것이다. 최대발휘 근력은 4초동안의 평균값을 구하였다.

활동전극(active electrode)은 제12흉추와 제1요추부위의 우측 최장근에 붙였고, 기준 전극(reference electrode)은 요선관절부위에, 접지전극(ground electrode)은 전기충격을 예방하기 위하여 척추 기립근과 관계없는 부위에 붙였다. 또한 복직근의 경우에는 활동전극을 배꼽(umbilicus) 우상부에 부착하였고, 기준전극은 제12늑골에, 접지전극은 복직근과 관계없는 부위에 붙였다<sup>2,8,10)</sup>.

실험에는 육체적으로 건강하고 과거에 허리상해 경험이 없는 남자 대학원생 2명이 참가하였는데, 실험 중 발생 가능성이 있는 위험요소에 관해서 미리 충분히 주지시켰다.

이들은 충분한 준비운동후 Fig. 2와 같이 실험 장치위에 올라서서 각각의 작업조건에서 최대로 힘을 낼 수 있는 자세를 취한 후 경보음이 울리면 동일한 자세에서 4초간 최대로 힘을 가하여 밀거나 당기도록 하였다.

물론 학습효과(learning effect)와 연속효과(sequ-

ential effect) 및 피로현상을 최소화하기 위하여 실험순서는 무작위로 하였고, 하루에 한 가지 실험 조건에 대하여 실험하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

등척성으로 밀고 당기는 직무(isometric push and pull tasks)에서 작용하는 수평, 수직힘은 시상면에서만 작용하며, 작업자세는 시상면(sagittal plane)을 중심으로 한 대칭형(symmetric) 작업이므로 양손에 부과되는 힘은 동일하다.

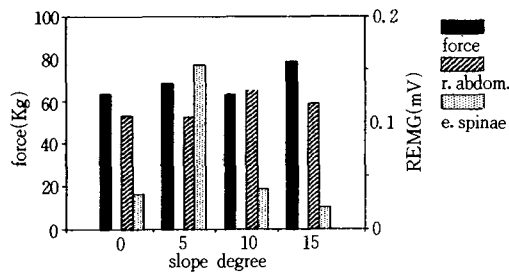
이러한 가정은 분석의 편의를 도모하기 위해 생체역학분야에서 일반적으로 인정되는 가정으로서<sup>1,11)</sup>, 본 연구도 이런 가정하에 실험결과를 분석하였다.

##### 4.1 미는 작업시의 수평근력 분석

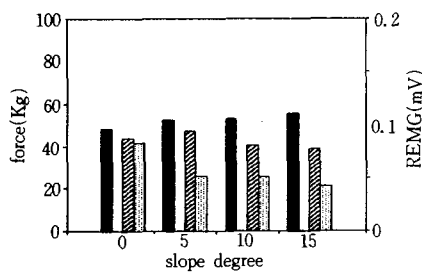
Fig. 3에서와 같이 경사면의 각도가 증가할수록, 또 핸들높이가 증가할수록 최대발휘근력은 증가하였으며, 특히 수평분력의 증가비율은 경사각도의 변화보다는 핸들높이의 변화에서 더 크게 나타났다.

또한 이때 복직근에서의 근전도 전압은 핸들높이에 따라 증가하였으며, 편차도 커졌다. 그러나 경사각도의 변화에 따라서는 증가하다가 감소하거나(핸들높이 155, 125cm인 경우), 감소하다가 증가(핸들높이가 95cm인 경우)하였고 척추기립근은 일반적으로 복직근과 반대의 현상을 나타냈다. 이것은 근력발휘에 있어서 적합한 자세가 존재한다는 사실을 암시한다고 할 수 있다.

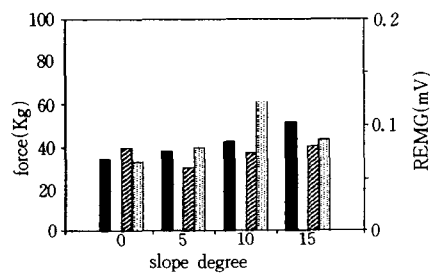
그 이유는 예를 들어 경사각도 5도 상승면상의 핸들높이 155cm에서 미는 작업을 할때, 일반적으로 체간이 약 45도로 기울어진 자세에서 작업을 수행하게 되므로 근력발휘가 쉬워 척추기립근에 많은 부하가 걸리며, 결과적으로 근전도 값도 최대에 이르기 때문이라고 생각되는데, 이것은 이미 보고된 다른 연구자들의 연구결과와 일치하였다(2,8).



(a) handle height 155cm



(b) handle height 125cm force(Kg)



(c) handle height 95cm

Fig. 3 Variation of push force and REMG

한편 두 근육의 근전도 변화에 대한 분산분석 결과가 Table 1과 Table 2이다. 이 표에 따르면 두

근육의 경우 모두, 각 요인들의 주효과는 물론 두 요인의 교호작용 효과와 세 요인의 교호작용 효과도 근전도 변동에 유의한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 다만, 복직근의 근전도에는 피실험자 요인이 유의한 영향을 끼치지 않았다.

Table 1 ANOVA of REMG (rectus abdominis in pushing)

variable	SS	DF	MS	F	Signif.
Main effect	.030	6	.005	7.610*	0.000
height	.013	2	.007	9.956*	0.000
degree	.016	3	.005	7.985*	0.000
subjects	.001	1	.001	1.793	0.182
2-way interactions	.054	11	.005	7.385*	0.000
height×degree	.010	6	.002	2.597*	0.019
height×subjects	.032	2	.016	23.844*	0.000
degree×subjects	.012	3	.004	5.990*	0.001
3-way interactions	.009	6	.002	2.302*	0.036
Explained	.094	23	.004	6.118*	0.000
Residual	.144	216	.001		
Total	.237	239	.001		

\* significant,  $\alpha=0.05$

Table 2 ANOVA of REMG (erector spinae in pushing)

variable	SS	DF	MS	F	Signif.
Main effect	.058	6	.010	23.864*	0.000
height	.042	2	.021	51.787*	0.000
degree	0.010	3	.003	8.415*	0.000
subjects	.006	1	.006	14.365*	0.000
2-way interactions	.081	11	.007	18.081*	0.000
height×degree	.040	6	.007	16.469*	0.019
height×subjects	.037	2	.018	45.181*	0.000
degree×subjects	.004	3	.001	3.239*	0.023
3-way interactions	.009	6	.001	3.583*	0.002
Explained	.148	23	.006	15.807*	0.000
Residual	.088	216	.000		
Total	.236	239	.001		

\* significant,  $\alpha=0.05$

그러나 이러한 결과는 복직근의 활성화 정도가 척추기립근의 활성화 정도에 비해 절대적으로 크다는(2,8) 사실에 유념하면 그 해석에 주의를 요한다.

왜냐하면 피실험자의 복직근이 최대로 활성화되

어 있으므로 그 근전도 변동이 척추기립근의 근전도 변동에 비해 상대적으로 작아, 개인적 요인이 복직근의 근전도 변동에 대해 설명력이 약하다는 것일뿐, 미는 작업시 개인적 요인이 결코 상관없다는 의미는 아니기 때문이다.

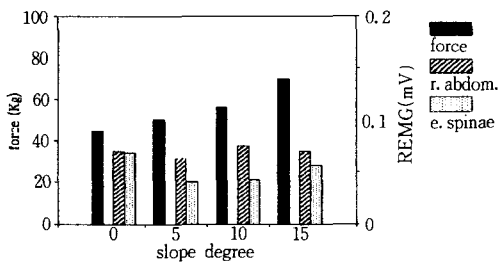
반대로 척추기립근의 활성화는 복직근에 비해 상대적으로 낮고 작업수행시 활성화의 변동은 오히려 상대적으로 커서, 근전도 변동에 유의하다고 보이는 것이기 때문이다. 이러한 현상은 당기는 작업시의 분석결과에서 복직근의 근전도에 피실험자 요인이 유의하고 척추기립근의 근전도에는 유의하지 않다는 결과와도 일관성을 보였다.

실제로 이같은 현상은 핸들이 낮은 경우(95cm) 체간을 앞으로 수그리고 작업을 해야 하므로 작업자세의 부적합으로 인해 충분한 근력을 발휘할 수 없는 반면 활동근육에는 무리가 따르지 않지만, 핸들이 높은 경우(155cm)에는 체간을 세운 상태에서 작업을 할 수 있는 반면 상대적으로 활동근육에는 무리가 따를 수 있기 때문이다.

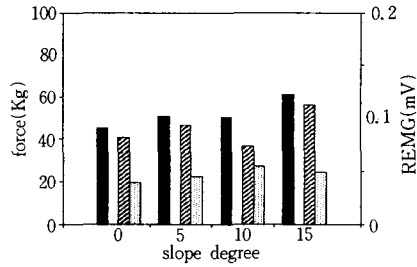
결과적으로 핸들이 높아지고 경사각도가 증가할 수록 근력을 발휘하기는 쉬우나 상대적으로 활동근육의 부담은 커진다고 할 수 있으므로, 특별히 큰 힘을 요구하지 않는 경사면상의 작업에서는, 핸들높이를 지나치게 높지 않도록 하여 작업자의 신체를 보호하는 것이 바람직하다.

#### 4.2 당기는 작업시의 수평근력 분석

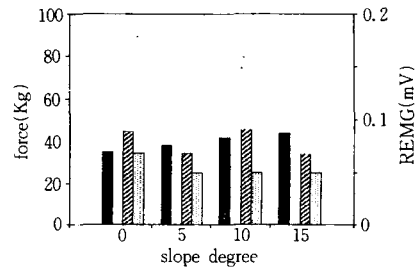
Fig. 4는 각각의 핸들높이에서의 최대발휘근력과 근전도 값을 그림으로 정리한 것이다. 당기는 작업 역시 미는 작업의 경우와 마찬가지로 경사각도와 핸들높이의 변화에 따라 최대발휘근력은 증가하며 활동근육의 부담도 작아지는 것을 볼 수 있다.



(a) handle height 155cm



(b) handle height 125cm



(c) handle height 95cm

Fig. 4 Variation of pull force and REMG

특히 핸들높이와 경사각도가 증가함에 따라 최대발휘근력의 수평분력은 증가하였으며, 미는 작업과 동일하게 경사각도가 15도이고 핸들높이가 155cm일 때 가장 크게 나타났다. 또한 수평분력의 증가비율은 경사각도의 변화보다는 핸들높이의 변화에서 더 크게 나타났다. 이때 복직근에서의 근전도 진폭은 핸들높이, 경사각도에 따라 선형적인 증가를 보이지 않았다. 또한 척추기립근의 근전도 진폭도 별다른 변동이 없었다.

또한 체간근육의 근전도 변화에 대해 분산분석한 결과, 복직근에서는 피실험자, 척추기립근에서는 핸들높이가 근전도 진폭에 영향을 주었고, 두 요인의 교호작용 효과와 세 요인의 교호작용 효과도 유의한 영향을 준다는 것을 알 수 있었다. 다만, 핸들높이와 경사각도의 교호작용 효과는 근전도에 유의한 영향을 끼치지 않았다.

복직근의 근전도에 피실험자 요인이 유의한 영향을 끼치지 않는다고 하는 이러한 결과는, 미는 작업시의 분석결과에서, 척추기립근의 근전도에 피실험자 요인이 유의하고 복직근의 근전도에는 유의하지 않았다는 결과에서 이미 설명한 바 있

다.

따라서 특별히 큰 힘을 요구하지 않는 경사면상의 당기는 작업시에도 핸들높이를 지나치게 낮지 않도록 하여 작업자를 보호하여야 한다.

## 5. 결 론

이상의 연구를 통하여 핸들높이와 경사각도의 변화에 대한 작업자의 최대발휘근력과 체간근육의 반응특성에 대해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 자유로운 자세에서 밀고 당기는 작업을 하는 경우 복직근, 척추기립근의 근전도 진폭과 최대발휘근력사이에는 선형적인 증가관계가 확인되지 않았다. 그 이유는 이두박근이나 삼두박근의 경우와는 달리, 밀고 당기는 작업시의 작업자세는 복직근과 척추기립근의 작용없이 다른 근육들의 상호작용만으로도 근력을 발휘할 수 있는 비정형체계(indeterminate system)이기 때문이다. 결과적으로 배복부 국소근육의 부담을 판단하는 데에는 근전도가 적합치 못함을 알 수 있었다.

둘째, 미는 작업에서는 복직근의 근전도에, 당기는 작업에서는 척추기립근의 근전도에 피실험자 요인이 유의하지 않았다. 그러나 이러한 현상은 각각의 작업시 피실험자의 해당근육-밀 때에는 복직근, 당길 때에는 척추기립근-이 최대로 활성화되어 그 근전도 변동이 반대쪽 근육의 근전도 변동에 비해 상대적으로 작아보이는 것일뿐 밀고 당기는 작업시 개인적 요인이 결코 상관없다는 의미는 아니라고 판단되었다.

셋째, 경사면상에서의 밀고 당기는 작업시에는 핸들이 높아지고 경사각도가 증가할수록 근력을 발휘하기는 쉬우나, 활동근육의 부담은 커진다. 따라서 가능한 한 핸들높이를 적절히 설치하여 작업자를 보호하는 것이 바람직한데, 특히 개인별 최적높이는 추후 계속 연구되어야 할 과제중의 하나이다.

이와 같이 생체역학적 평가방법과 신체심리학적 평가방법을 병용하여 지속적으로 수동 운반자세 및 직무를 평가분석하는 일은, 연간 산업재해건수 약 10만건 중 50% 이상이 '부적절한 자세나 동작'으로 인한 것이라는 우리나라의 현실에 비추어 볼 때, 매우 절실하다고 생각된다.

## 참 고 문 헌

- 1) Chaffin, D.B., Andres, R.O., and Garg, A., Volitional postures during maximal push/pull exertions in the sagittal plane, *Human Factors*, Vol. 25, No. 5, pp. 541~550, 1983.
- 2) Chung, M.K., Studies of isometric hand pushing and pulling in volitional posture, Unpublished M.S.thesis, The University of Michigan.
- 3) Snook, S.H., The design of manual handling tasks, *Ergonomics*, Vol. 21, No. 12, pp. 963~985, 1978.
- 4) Gaughran, G.R.L., and Dempster, W.T., Force analyses of horizontal two-handed pushes and pulls in the sagittal plane, *Human Biology*, Vol. 28, pp. 67~92, 1956.
- 5) Strindberg, L., and Petersson, N.F., Measurement of force perception in pushing trolleys, *Ergonomics*, Vol. 15, No. 4, pp. 435~438, 1972.
- 6) Ayoub, M.M., and McDaniel, J.W., Effects of operators stance on pushing and pulling tasks, *AIIE Transactions*, Vol. 6, No. 3, pp. 185~195, 1974.
- 7) Kroemer, K.H.E., Horizontal push and pull forces, *Applied Ergonomics*, Vol. 5, No. 2, pp. 94~102, 1974.
- 8) Lee, K.S., Chaffin, D.B., Waikar, A.M., and Chung, M.K., Lower back muscle forces in pushing and pulling, *Ergonomics*, Vol. 32, No. 12, pp. 1551~1563, 1989.
- 9) 조정호, 최윤호, 왕문성, 박상희, 연결축소 회로망을 이용한 EMG 신호 기능인식에 관한 연구, *J. of KOSOMBE*, Vol. 11, No. 2, pp. 249~256, 1990.
- 10) Chapman, A.E., and Troup, J.D.G., The effect of increased maximal strength on the integrated electrical activity of lumbar erector spinae, *Electromyograph*, Vol. 9, pp. 263~280, 1969.
- 11) 장원경, 인체동작의 EMG 측정 및 사진분석의 전산화 연구, 석사논문, 서울대학교 대학

원, 1983.

---