

# 허리의 비틀림 각도에 따른 근육 활동 분석

박현진 · 장성록<sup>†</sup>

부경대학교 안전공학과  
(접수 2001. 3. 22. / 채택 2001. 6. 23.)

## A Study on the Muscle Activity During Asymmetric Load Handling

Hyun-Jin Park · Seong-Rok Chang<sup>†</sup>

Department of Safety Engineering, Pukyong National University  
(Received March 22, 2001 / Accepted June 23, 2001)

**Abstract :** Low back pain has been known as the most frequent musculoskeletal disorders in modern industrial society and cost by low back pain is increasing more and more. The asymmetric lifting has been identified as a major risk factor of low back pain. In this study, the muscle activity and muscle exertion level during asymmetric load handling (without trunk flexion) was estimated. The results of normalized MVC measurement were decreased about 16%, 24%, 34% respectively as the asymmetric angle was 30°, 60°, 90°. From the results of EMG measurement, contralateral muscles were more active than ipsilateral muscles. RMSEMG values of right erector spinae muscles were decreased as the work posture went to 90° and those of left erector spinae muscles were increased until the asymmetric angle was 40° but decreased continually over 40°. And for seven of subjects, activities of left and right latissimus dorsi muscles were maintained constantly, while for remainder, those were irregular.

**Key Words :** low back pain, asymmetric lifting, manual materials handling, electromyography, maximum voluntary contraction

### 1. 서 론

산업현장에 있어서 기계화의 확산에도 불구하고, 과도한 인력운반(manual materials handling, 이하 MMH) 작업으로 인해 발생하는 근골격계 질환(musculoskeletal injuries, MSIs)은 여전히 작업시간의 손실, 비용 증가, 그리고 신체 장애를 야기하는 중대한 원인으로 대두되고 있다<sup>1)</sup>. 특히, MMH작업시 과도한 중량물의 취급, 작업과정에서 반복적으로 발생하는 몸통부위의 비틀림, 구부림 등이 요통(low back pain, LBP)을 유발하는 주원인으로 알려져 있다<sup>2)</sup>.

미국의 경우 직업성 요통은 전체 산업재해의 약 20~40% 정도를 차지하고 있으며, 산업재해 환자의 재발 중 약 70%가 요통환자로 판정되었다<sup>3)</sup>. 1979년 미국 26개 주에서 조사된 바에 따르면, 보상을 요구하는 모든 작업자 중 19~25.5%가 요통 때문인 것으로 평가되었으며, 그 중 어떤 물체를 드는 행위에

의한 것이 48%, 밀거나 당기는 행위에 의한 것이 9%, 그리고 잡거나 운반하는 행위에 의한 것이 5.7%로 보고되었다<sup>4)</sup>.

우리나라의 경우, 한국산업안전공단에 의하면 2000년 상반기에 과다동작으로 발생한 누적재해자수가 1월 300명, 2월 587명, 3월 1021명, 4월 1355명, 5월 1791명으로 지속적인 발생 현상을 보이고 있다<sup>5)</sup>.

들기 작업시 중량물의 무게와 중량물이 놓인 수평거리의 증가, 드는 속도의 증가, 중량물이 놓인 수직거리의 감소가 허리에 가해지는 하중을 증가시키는 요인으로 널리 알려져 있다<sup>6)</sup>. Chang은 생체역학적 분석 및 근전도 실험을 통한 물자인양작업 중 L5/S1에 걸리는 부하와 척추기립근 동원현상의 상관관계에 관한 연구에서 L5/S1에 걸리는 부하는 외부하중의 변화에 따라 선형적으로 증가한다고 나타냈다<sup>7)</sup>. 최근에는 들기 작업 자세 중 비틀림 동작이 허리에 상해를 주는 요인으로 평가되고 있다. 다양한 비대칭적 들기 작업에 대한 연구가 이루어지고 있으며<sup>8,9)</sup>, 비틀림 각도 90°까지 증가함에 따라 최대

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
srchang@pknu.ac.kr

허용중량에 있어서 9~20% 감소를 초래하고, maximum voluntary contraction(이하 MVC)은 12~31%의 감소를 초래한다고 보고되고 있다.

그러나 지금까지 연구되어진 비대칭적 들기작업의 자세는 거의 허리를 구부린 자세에서 실시되었다. 실제 산업현장의 컨베이어 작업에서는 허리를 구부리지 않고 하중을 드는 작업이 빈번히 이루어지고 있다.

본 연구의 목적은 허리를 편 상태로 비대칭적 들기작업시 허리의 비틀림 각도에 따른 MVC와 근전도를 측정하여 각도별 근육의 활동을 분석하고, NIOSH 들기지침에서 나타내는 기준과의 비교를 통해 비틀림 동작이 포함되는 작업의 요통예방지침을 제공하고자 한다.

## 2. 실험설계

### 2.1. 피실험자

피실험자는 과거 허리나 다리를 다친적이 없는 학부생과 대학원생 10명으로 구성되었으며, 실험전 실험자세에 관해 숙지하도록 교육후 실험을 실시하였다. 피실험자의 나이는 24.8(±1.40)세, 키는 171.9(±2.02)cm, 체중은 67.4(±8.14)kg이다.

### 2.2. 실험대상근육 및 실험기기

관측대상으로 선정된 근육들은 기존의 인력운반 관련 연구에서 주 관측대상이 되고 있는 좌우 erector spinae(LES/RES)와 latissimus dorsi(LLD/RLD)이다.

본 실험에 사용된 기기로는 각도별 MVC 측정을 위해 Takei Kiki Kogto Co.에서 제조한 digital dynamometer를 이용하였으며, 측정대상 근육의 EMG신호를 검출하기 위해 Thought Tech.에서 개발하여 보급한 FlexComp EMG solution을 이용하였으며, 이 기기는 기존의 EMG Multiplexor와 A/D converter를 포함한 것으로 모니터를 통해 실시간으로 분석할 수 있다.

### 2.3. 실험방법

MVC측정은 몸의 시상면을 중심으로 하여 시계 방향으로 0°~90°까지 10° 간격으로 각도당 3회씩 정적인 들기 작업을 실시하였으며, 각도간 들기 작업 후 10분간의 휴식시간을 두어 실시하였다. 실험 자세는 허리와 다리를 편 자세로 실시되었으며, 또한 골반과 하지 관절의 움직임을 방지하기 위해 밴드를 이용하여 골반과 하지 관절부분을 고정시켰다.

수직높이는 피실험자의 팔꿈치 높이로 하였으며, 각도 변경시 골반과 관절은 0° 방향으로 계속 유지시키고 허리만 회전시켜 실험을 실시하였다.

근전도 측정은 비틀림 각도별 MVC측정시 근육에서 발생하는 전위차의 Root Mean Square (이하 RMS)의 값으로 나타내었다.

## 3. 실험결과

### 3.1. MVC 측정

실험을 통하여 나타난 각도별 MVC값은 Table 1과 같으며 피실험자간의 비교를 위하여 피실험자의 비틀림 각도별 MVC를 최대 발휘 근력을 기준으로 표준화 하였다. 즉 각 피실험자 *i*의 비틀림 각도별 표준화 MVC(normalized MVC, 이하 NMVC)를 다음의 식과 같이 정의하였다.

$$NMVC_i(x) = \frac{MVC_i(x)}{MVC_i(0)}$$

여기서, x는 비틀림 각도를 나타낸다.

각 피실험자의 NMVC는 Fig. 1에서 나타난 것과 같이 비틀림 각도가 증가될수록 NMVC는 감소하는 경향을 보였으며, 허리의 비틀림 각도 0°를 기준으로 30°, 60°, 90°로 증가함에 따라 NMVC는 약 16%, 24%, 34%로 감소하였다. 피실험자4가 감소율이 약 15%로 가장 낮았고 피실험자5가 감소율이 약 49%로 가장 높았으며, 이러한 결과로부터 중량물 취급

Table 1. MVC for asymmetry angle (kg)

	sub 1	sub 2	sub 3	sub 4	sub 5	sub 6	sub 7	sub 8	sub 9	sub 10
0	24.3	24.5	24.4	23.2	31.2	24.6	25.0	24.6	23.0	29.2
10	23.7	20.1	21.7	21.4	28.1	21.4	19.5	23.0	22.5	26.8
20	23.2	20.0	21.1	20.8	25.9	22.4	19.8	22.2	21.4	25.7
30	22.7	19.3	18.7	20.4	25.6	19.2	17.9	22.4	20.5	24.3
40	23.5	18.6	18.2	19.9	25.6	19.4	17.4	23.4	22.2	25.0
50	21.9	19.2	16.4	19.6	24.3	18.3	18.4	22.1	21.7	21.3
60	19.2	17.6	15.7	19.0	21.8	18.8	17.1	22.1	19.6	19.5
70	17.8	17.6	15.0	17.7	20.7	18.3	17.1	21.2	18.6	18.5
80	20.6	16.1	15.4	18.1	19.1	20.0	16.9	17.5	20.4	19.7
90	17.3	15.8	14.5	17.4	18.2	18.3	15.8	15.3	19.7	17.3

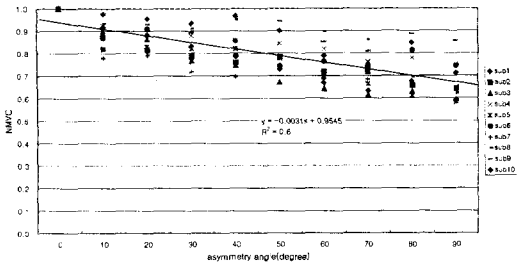


Fig 1. Decreasing trends in NMVC for asymmetric lifting

과 관련하여 적절한 근로자의 선택이 중요함을 알 수 있었다. 또한 회귀분석 결과 비틀림 각도에 따른 NMVC의 감소에 대한 추산식은  $y = -0.0031x + 0.9545$  ( $r^2 = 0.6$ )로 계산되었다.

### 3.2. 근전도 분석

허리의 비틀림 각도별 EMG값을 측정된 결과 피 실험자간에 근육의 활동에 있어서 약간의 차이를 보였다. 7명의 피실험자에 대한 실험결과 Fig. 2와 같이 비틀림 각도별 정적인 들기 작업이 실시되는 동안 좌우 활배근 모두 거의 일정하게 유지되는 경향이 나타났다. 좌측 척추기립근은 비틀림 각도 30°까지는 증가하다가 40°를 초과하면서부터 다시 감

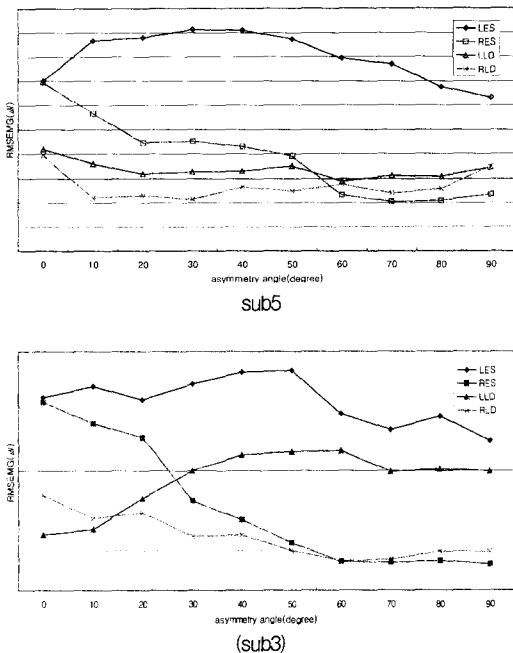


Fig. 2. RMSEMG amplitude of four trunk muscles for asymmetric lifting

소하는 경향이 나타났다. 또한 우측 척추기립근은 비틀림 각도가 증가할수록 계속적으로 감소하는 경향이 나타났다. 이와 반해 3명의 피실험자에게서는 Fig. 3에서 나타난 것과 같이 좌우 척추기립근은 먼저 설명한 7명과 비슷한 경향이 나타났지만, 우측 활배근은 우측 척추기립근과 비슷하게 계속적으로 감소하였으며, 좌측 활배근은 조금 증가하다가 일정하게 유지되는 경향이 나타났다.

또한 모든 피실험자에게서 하중이 위치한 방향인 우측 근육보다 하중이 위치한 반대쪽 근육인 좌측 근육이 더 활발한 것으로 나타났다.

### 3.3. 들기 지수를 만족하는 발휘근력

1991년 NIOSH의 들기작업지침에서 들기 지수는 실제 작업물의 무게와 권장무게한계의 비(ratio)로 특정 작업에서의 육체적 스트레스의 상대적인 양을 나타내며 이 값이 1보다 클 경우 작업의 부하가 권장치보다 크다고 나타내고 있다. 따라서, 본 실험자 세에서의 작업부하를 구하기 위하여 권장무게한계에 따른 들기 지수를 만족하는 발휘근력을 계산하였다. 권장무게한계를 구하기 위하여 빈도율은 작업 시간 1시간을 기준으로 분당 0.2회, 5회, 10회로 변화시켰으며, 거리 계수, 커플링 계수는 가장 최적화된 값으로 결정하였고 비대칭 계수는 본 실험각도인 0°~90°를 대입하여 결정하였다. 수평 계수와 수직 계수는 본 실험자세에서 측정된 값을 사용하여 결정하였다. 그 결과 빈도율이 분당 0.2회, 5회, 10회로 증가할수록 권고무게한계는 각각 약 10~14kg, 8~11kg, 4~6kg으로 계산되었다. 권장무게한계에 따른 들기 지수(분당 1회 이하)를 만족하는 발휘근력은 비틀림 각도 0°, 30°, 60°, 90°에서 각각 약 57%, 62%, 61%, 60% MVC로 평균 약 58% MVC로 계산되었다. 또한 들기 빈도율에 따른 들기 지수를 계산한 결과 빈도율이 분당 5회, 10회로 증가할수록 들기 지수를 만족하는 발휘근력은 약 45%, 26% MVC로 감소됨을 알 수 있었다.

## 4. 결론 및 토의

본 연구에서는 허리를 편 상태로 비대칭적 정적인 들기 작업에 따른 MVC의 측정과 근육의 활동을 분석하기 위하여 비틀림 각도가 0°~90°로 증가함에 따른 MVC와 RMSEMG를 측정하였으며, 결론은 다음과 같다.

(1) 비틀림 각도가 30°, 60°, 90°로 증가함에 따라 NMVC는 약 16%, 24%, 34%로 감소하였다.

(2) 비틀림 각도별 대상근육의 근전도 측정결과, 하중이 위치한 방향의 근육인 우측 척추기립근과 우측 활배근보다 반대쪽에 위치한 근육인 좌측 척추기립근과 좌측 활배근의 활동이 더 활발한 것으로 나타났다.

(3) 7명의 피실험자에 대한 실험결과, 좌측 활배근과 우측 활배근은 거의 일정하게 유지되는 반면에 3명의 피실험자에게서는 이와 다르게 우측 활배근은 계속적으로 감소하였으며 좌측 활배근은 조금 증가하다가 일정하게 유지되는 경향을 나타냈다.

(4) 모든 실험자에 대한 실험결과, 우측 척추기립근은 비틀림 각도가 증가할수록 감소하였고, 특히 좌측 척추기립근은 비틀림 각도 약 40°까지는 증가하다가 40°~50°를 초과할수록 다시 감소하는 경향이 나타났다.

본 논문에서 허리의 굴곡이 포함된 들기 작업시 비대칭적 들기 작업이 대칭적 들기 작업에 비해 MVC가 12~31% 감소한다고 설명하였는데, 본 연구의 실험자세, 즉 허리의 굴곡이 포함되지 않은 자세에서도 이와 유사한 결과가 나타났다. 또한 Cook and Neumann<sup>10)</sup>은 작업물의 위치와 중량의 변화에 따른 근전도 신호의 크기 변화를 분석한 결과, 작업물의 중량이 증가할수록 근전도 신호의 크기도 증가하며, 작업물과 반대쪽 근육들이 같은 쪽 근육들에 비해 큰 근력을 발휘한다는 사실을 밝혔는데, 본 연구에서도 이와 유사한 결과가 나타났다. 그리고 하중의 반대쪽 근육인 좌측 척추기립근은 40°를 초과할수록 다시 RMSEMG가 감소하는 현상이 나타났는데 이는 하지 관절과 골반의 움직임 영향으로 인해 발생된 것으로 사료된다.

1991년 NIOSH 들기 작업 지침에서는 비틀림 각도에 따라 1-0.0032A라는 보정계수를 주고 있는데<sup>11)</sup>, 본 실험에서도 비틀림 각도에 따른 NMVC의 감소에 대한 회귀분석 결과 추산식이 0.9545 (1-0.0032A)으로 NIOSH에서 제시한 보정계수와 거의 비슷함을 알 수 있었다. 또한 본 실험자세에서 들기 지수를 만족하는 발휘근력의 계산으로부터 들기 빈도율이 분당 5회, 10회로 증가될수록 들기 지수를 만족하는 발휘근력이 약 45%, 26%MVC로 감소하였는데 이러한 결과로부터 가벼운 하중을 취급할 때에도 들기 빈도가 증가할 경우 충분히 요통을 유발할 수 있다

는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 허리를 편 상태에서의 비틀림 각도에 따른 MVC와 RMSEMG를 측정하였지만, 이 연구를 기초로 하여 컨베이어 작업 등의 실제 현장에서 이루어지는 비틀림 동작이 포함된 중량물의 운반 및 취급시 작업 빈도와 하중을 고려한 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- 1) Amit Bhattacharya and James D. McGlothlin, Occupational Ergonomics : Theory and Applications, Marcel Dekker, Inc., 1996.
- 2) 이육기, 김상호, 정민근, MMH 작업조건에 따른 몸통부위 근육군의 활동변화에 관한 연구, 대한인간공학회 추계학술논문집, pp. 223~235, 1993.
- 3) 한국산업안전공단, 전문가를 위한 인간공학, 1999.
- 4) S. Kumar and D. Garand, Static dynamic lifting strength at different reach distances in symmetrical and asymmetrical planes, Ergonomics, Vol. 35, No. 7/8, pp. 861~880, 1992.
- 5) www.kosha.or.kr
- 6) Idsart Kingma, Jaap H. van Dieën, Michiel de Looze, Huub M. Toussaint, Patricia Dolan, and Chris T.M. Baten, Asymmetric low back loading in asymmetric lifting movement is not prevented by pelvic twist, Journal of Biomechanics, 31, pp. 527~534, 1998.
- 7) 장성록, L5/S1에 걸리는 부하염력과 척추기립근 근전도의 상관관계 분석, 한국산업안전학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 103~108, 1995.
- 8) A. Gang and J. Banaag, Psychophysical and physiological responses to asymmetric lifting, Trend in Ergonomics/Human Factors V, pp. 871~877, 1988.
- 9) A. Gang and D. Badger, Maximum acceptable weights and maximum voluntary isometric strengths for asymmetric lifting, Ergonomics, Vol. 29, No. 7, pp. 879~892, 1986.
- 10) T. M. Cook, and D. A. Neumann, The effects of load placement on the EMG activity of the low back muscles during load carrying by men and women, Ergonomics, Vol. 30, No. 10, pp. 1413~1423, 1987.
- 11) Thomas R. Waters, Vern Putz-Anderson, Arun Garg, and Lawrence J. Fine, Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks, Ergonomics, Vol. 36, No. 7, pp. 749~779, 1993.