

근골격계 질환 예방을 위한 하지의 불균형 작업자세에서 근전도를 이용한 하지 근육의 작업부하 평가

홍 창 우¹ · 김 유 창²

¹농촌진흥청 농촌지원국 / ²동의대학교 산업경영공학과

The Evaluation of Workload on Lower Limbs Muscles in Imbalanced Lower Limbs Postures Using EMG for Preventing WMSDs

Chang Woo Hong¹, Yu Chang Kim²

¹Extension Service Bureau, Rural Development Administration(RDA), Suwon, 441-707

²Department of Industrial Management Engineering, Dong-Eui University, Busan, 614-714

ABSTRACT

Work related musculoskeletal disorders(WMSDs) was a leading cause of sick leave and injuries in the industries of our country. Posture was an important consideration in the design of work method and workplaces, because it affected the ability of workers to use various equipments and influenced how long they could perform their job without feeling discomfort, fatigue, and musculoskeletal disorders. Imbalanced lower limb postures such as a squatting posture were awkward working postures common to the shipbuilding shops, farms, automobiles assembly lines in our country. Different awkward working postures were known to be associated with specific musculoskeletal disorders. Eight postures in lower limb postures divided into balanced and imbalanced postures were evaluated by electromyographic(EMG) activity for lower limb muscles. Twelve male subjects participated in this study. This paper was to analyze the effects of lower limb muscles workload according to lower limb postures(knee angle) and working time. The ANOVA results showed that most EMG root mean square(RMS) values were statistically significant effect according to lower limb postures(knee angle) and working time. Therefore, the results of this study will provide the basis to evaluate workload of lower limb postures correctly adopted by workers in various jobs and the ergonomic reference to prevent WMSDs.

Keyword: Work related musculoskeletal disorders, Imbalanced lower limbs postures, EMG

1. 서 론

우리나라 전 산업에 걸쳐서 사회적 이슈로 대두되고 있는 작업관련성 근골격계 질환은 다양한 직업에서 발병 가능성이 높으며, 이로 인한 작업자의 건강 및 경제적인 측면에서 큰 손실을 초래하고 있다. 노동집약적인 작업환경을 가지는 제조업, 자동차 조립, 조선업, 그리고 농작업 등에서 많은 근골격계 질환이 발생하고 있고, 그 원인은 부적절한 작업 자세, 힘, 반복 등이 원인으로 알려져 있다(김유창과 정현옥, 2000). 이와 관련한 연구는 전화번호 안내원(김유창과 최용환, 2000), 맨홀작업자(김유창 등, 2001), 자동차공장 작업자(김철홍 등, 2000), 정비작업자(정민근 등, 1997), 농작업자(농촌진흥청, 2002) 등과 같이 국내 여러 분야에서 보고되고 있다.

특히 이들 업종에서는 부적절하고 부자연스런 작업자세가 빈번하게 취해지고, 다양한 크기의 중량물 취급과 진동공구 사용 등에 따라 작업자들은 인간공학적 위험유해요인에 노출되어 있다. 이로 인해 작업자의 건, 근육, 신경 등에 필요 이상의 스트레스가 가해질 수 있다(김규상과 홍창우 등, 2005).

근골격계 질환 위험요인의 평가는 근골격계 질환 예방에 있어서 중요한 과정이며, 작업장의 작업부하를 경감시키고, 작업의 안전성을 확보하기 위해서는 작업자들에게 부과되는 작업부하를 올바르게 평가하고, 해당 유해요인들을 찾아서 신속하게 제거해야 할 필요성이 제기되고 있다.

작업자세의 부하 평가에 관한 연구에서, 미국 등 선진국에서는 자동차 산업에서 근골격계 질환이 많이 발생하여 요추와 상지에 대한 연구는 많이 수행되어 있으나, 하지에 대한 연구는 상대적으로 거의 없는 형편이다(김유창과 류영수, 2005). 그러나 하지는 전신 자세의 안정성에 영향을 미치는 신체 부위이기 때문에 근골격계 질환의 발생 가능성이 높은 부위이며, 하지의 자세에 따라서 전신의 작업자세 부하가 영향을 받을 수도 있다(이인석과 정민근, 1998).

현재 업종의 특성상 많은 산업안전보건문제를 가지고 있는 우리나라의 조선업, 중공업, 자동차 제조업 등 다양한 작업현장에서 작업자들이 쪼그려 앉거나 무릎 굽혀 서기 등을 비롯한 다양한 하지의 자세로 장시간 동안 작업을 수행하고 있다. 그러나 이러한 자세들의 부하에 대한 연구가 많이 미진한 상태이다(김유창과 류영수, 2005).

따라서 우리나라 산업현장의 작업 특성상 작업자들이 많이 취하고 있는 다양한 하지 작업자세들 중에서 근골격계 질환의 유해요인이라고 할 수 있는 하지의 불균형 자세들이 작업부하에 미치는 생체역학적 및 생리학적 영향을 밝히는 연구가 절실하게 필요하다.

본 연구에서는 실험에 선정된 하지의 균형과 불균형 자세들에 대하여 정적인 자세를 유지한 후 근전도(electromyography, EMG) 측정을 실시하였다. 그리고 실험에서 얻은 근전도 신호의 관계를 분석하여 각 자세들의 부하를 평가하였다. 따라서 본 연구의 결과는 근골격계의 부담을 줄일 수 있는 다양한 작업환경 및 작업방법의 설계에 기초자료로 활용될 수가 있다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

연구대상은 근골격계 질환을 경험한 적이 없는 건강한 남자 대학생 및 대학원생 12명이 실험에 참여하였다. 피실험자의 평균(\pm SD) 연령, 신장, 그리고 체중은 각각 24.5(\pm 2.43)세, 175.6(\pm 3.28)cm, 그리고 69.2(\pm 6.40)kg이었다. 실험 전 근전도에 대한 충분한 설명과 테스트를 통하여 실험에 대한 부담감을 해소하였다.

2.2 연구방법

본 연구에서 선정된 다양한 하지 작업자세들은 우리나라 제조업체의 작업장에 존재하는 작업 및 공정의 근골격계 질환 관련 인간공학적 위험성을 조사하기 위하여 기계제조업, 금속제조업, 전자제조업, 기타 제조업에서 수행되는 대표적인 작업들을 작업현장에서 직접 측정된 동영상 촬영과 인간공학적 작업환경 조사도구를 토대로 분석된 대표적인 자세들로 구성되었다.

본 연구에서 균형과 불균형의 8개 하지 작업자세들의 신체적 부하를 평가하기 위하여 선정된 독립변수는 다음 표 1와 같다. 피실험자의 하지 근육의 작업부하를 측정하기

표 1. 실험에서 선정된 독립변수

독립변수	수준수	수준
무릎 각도에 따른 균형자세	4	자세 1, 2, 3, 4
무릎 각도에 따른 불균형자세	4	자세 5, 6, 7, 8
작업 지속 시간	3	0~3~5분

무릎 각도: 180도, 150도, 90도 이내

자세 1 : 기준서기 자세(양 발 좌우 간격: 100% 어깨너비)

자세 2 : 전후서기 자세(양 발 전후 간격: 100% 발길이)

자세 3 : 무릎굽혀서기(무릎 각도: 150도 이내)

자세 4 : 쪼그려앉기(무릎 각도 < 90도, squatting)

자세 5 : 자세 1번을 취한 후, 오른발에 체중을 모아 지지하기

자세 6 : 자세 2번을 취한 후, 오른발에 체중을 모아 지지하기

자세 7 : 자세 3번을 취한 후, 오른발에 체중을 모아 지지하기

자세 8 : 자세 4번을 취한 후, 오른발에 체중을 모아 지지하기

위해 근전도를 사용하였다. 본 연구에서 근육활동 분석을 위한 근전도 실험에서는 하지 작업과 관련된 신체활동에서 주동근의 역할을 수행하는 요부척주기립근(erector spinae), 대둔근(glutaeus maximus), 대퇴직근(rectus femoris), 대퇴이두근(biceps femoris), 전경골근(tibialis anterior), 비복근(gastrocnemius)이 근전도 분석의 대상이 되었다. 실험은 표 1에서 제시한 각각의 실험조건에서 5분간 정적인 자세를 유지한 후, 근전도를 측정하였다.

본 연구에서 근육활동 분석을 위한 근전도 실험에서는 하지 작업과 관련된 신체활동에서 주동근의 역할을 수행하는 요부척주기립근(erector spinae), 대둔근(glutaeus maximus), 대퇴직근(rectus femoris), 대퇴이두근(biceps femoris), 전경골근(tibialis anterior), 비복근(gastrocnemius)이 근전도 분석의 대상이 되었다. 실험은 표 1에서 제시한 각각의 실험조건에서 5분간 정적인 자세를 유지한 후, 근전도를 측정하였다.

상지 자세에 대한 무게부하는 현재 산업현장에서 많이 사용하고 있는 드릴, 렌치, 해머 등 수공구(작업 시 한 손으로 사용하는 수공구의 무게를 기준)의 무게 범위가 대략 1~2kg 전후임을 조사하였고, 또한 인간공학적 수공구 설계 기준이 2.3kg임을 감안하여 작업자들이 실제 산업현장에서 상지 외부부하로 많이 느낄 수 있는 무게인 3kg으로 임의 선정하였다. 각 피실험자들은 각기 다른 순서로 8개 작업자세를 취하였으며, 모든 자세는 무작위로 정렬되었고, 각 자세에 대한 평가 후 피실험자들이 충분히 휴식을 취하였다고 확인한 후 실험을 계속 진행하였다

다음 그림 1은 본 실험에서 피실험자들을 대상으로 선정

된 8개 하지 작업자세들을 평가하고 있는 샘플 그림이다.

근전도 실험을 위한 장비로는 측정대상 근육의 근전도 신호를 검출하기 위하여 미국 NORAXON사에서 개발하여 보급한 MyoResearch System을 이용하였다. 측정오차를 줄이기 위해서 표면전극은 전극도자가 1cm 간격으로 고정되어 있는 듀얼전극을 부착하여 20분간 에이징(aging)을 실시한 후 근육활동을 측정하였다. 그리고 요부척주기립근, 대둔근, 대퇴직근, 대퇴이두근, 전경골근, 비복근의 좌·우측으로 쌍을 이루어 6개의 대상 근육에 모두 전극을 부착하고, 실험의 목적과 방법에 대한 충분한 설명을 하였다.

근전도 데이터의 수집으로 Sampling frequency는 1024 Hz로 측정된 Raw data를 일차적으로 Rectification와 RMS Smoothing 처리한 후, 이차적으로 Band pass filtering 처리하여 얻어진 근육활동 값을 이용하여 분석하였다.

3. 연구결과

본 연구에서는 측정된 하지 근육들 중에서 대퇴직근, 대퇴이두근, 우측 요부척주기립근을 대상으로 균형과 불균형의 하지 작업자세와 정적 시간에 따른 근전도 진폭의 변화를 분석함으로써 각각의 하지 근육활동을 관찰하였고, 하지 근육에 유의한 차가 있는지를 확인하기 위해 통계프로그램 SPSS 12.0을 이용해 유의수준 .05에서 통계분석(t-test)을 수행하였다.



그림 1. 실험에서 평가된 하지 작업자세들

3.1 대퇴직근

균형과 불균형의 하지 작업자세별 정적 시간에 따른 대퇴직근의 RMS의 평균값을 분석한 결과가 다음 표 2에 나타나 있다.

1, 3, 5분대에서 전후서기 자세의 균형자세 2와 불균형 자세 6, 무릎굽혀서기의 균형자세 3과 불균형자세 7에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$).

표 2. 균형과 불균형의 작업자세에 따른 대퇴직근의 근전도 변화

시간	자세 (균형)	근전도 값	자세 (불균형)	근전도 값	통계검정 (t-test)
1분	자세1	7.0	자세5	5.7	0.069
	자세2	5.7	자세6	8.6	0.047*
	자세3	17.0	자세7	25.1	0.024*
	자세4	7.0	자세8	4.8	0.034
3분	자세1	6.7	자세5	5.4	0.058
	자세2	5.9	자세6	9.3	0.042*
	자세3	15.6	자세7	25.0	0.016*
	자세4	5.0	자세8	6.5	0.053
5분	자세1	7.1	자세5	5.9	0.065
	자세2	6.1	자세6	10.1	0.038*
	자세3	17.7	자세7	23.9	0.033*
	자세4	6.2	자세8	7.1	0.075

* $p < 0.05$

위의 결과에서, 전후서기 자세와 무릎굽혀서기 자세의 불균형 자세가 대퇴직근에 부담을 많이 주며, 이로 인해 근육 피로가 증가하여 근골격계 질환을 발생시키는 원인으로 발전할 수 있다.

3.2 대퇴이두근

균형과 불균형의 하지 작업자세별 정적 시간에 따른 대퇴이두근의 RMS의 평균값을 분석한 결과는 다음 표 3과 같다.

1, 3분대에서 무릎굽혀서기의 균형자세 3과 불균형자세 7에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 즉 1, 3분대에서는 무릎굽혀서기 자세에서 불균형자세가 균형자세보다 대퇴이두근에 부담을 주는 것으로 나타났다.

5분대에서는 전후서기의 균형자세 2와 불균형자세 6, 무릎굽혀서기의 균형자세 3과 불균형자세 7에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 즉 5분대에서는 전후서기 자세와 무릎굽혀서기 자세에서 불균형자세가 균형자세보다 대퇴이두근에 부담을 주는 것으로 나타났다.

위 결과에서, 특히 무릎굽혀서기의 불균형자세가 대퇴이

표 3. 균형과 불균형의 작업자세에 따른 대퇴이두근의 근전도 변화

시간	자세 (균형)	근전도 값	자세 (불균형)	근전도 값	통계검정 (t-test)
1분	자세1	7.6	자세5	9.0	0.068
	자세2	14.5	자세6	18.1	0.074
	자세3	6.1	자세7	21.2	0.013*
	자세4	5.3	자세8	6.2	0.076
3분	자세1	7.7	자세5	10.0	0.061
	자세2	11.7	자세6	15.5	0.062
	자세3	5.6	자세7	17.9	0.016*
	자세4	4.7	자세8	6.5	0.061
5분	자세1	7.0	자세5	8.4	0.071
	자세2	9.7	자세6	22.6	0.034*
	자세3	5.5	자세7	17.1	0.026*
	자세4	5.1	자세8	7.4	0.055

* $p < 0.05$

두근에 부담을 가장 많이 주며, 이로 인해 근육피로가 증가하여 근골격계 질환을 발생시키는 원인으로 발전할 수 있기 때문에 이에 대한 작업기준 설정과 작업방법 개선이 필요하다.

3.3 요부척추기립근

균형과 불균형의 하지 작업자세별 정적 시간에 따른 요부척추기립근의 RMS의 평균값을 분석한 결과를 다음 표 4에 나타내었다.

표 4. 균형과 불균형의 작업자세에 따른 요부척추기립근의 근전도 변화

시간	자세 (균형)	근전도 값	자세 (불균형)	근전도 값	통계검정 (t-test)
1분	자세1	9.8	자세5	11.6	0.052
	자세2	11.5	자세6	15.3	0.019*
	자세3	13.7	자세7	17.6	0.043*
	자세4	5.2	자세8	4.9	0.075
3분	자세1	7.7	자세5	11.7	0.019*
	자세2	10.6	자세6	14.5	0.017*
	자세3	12.3	자세7	17.5	0.034*
	자세4	5.2	자세8	4.3	0.044*
5분	자세1	7.6	자세5	11.0	0.027*
	자세2	10.5	자세6	14.0	0.022*
	자세3	11.8	자세7	16.8	0.032*
	자세4	4.7	자세8	4.1	0.049*

* $p < 0.05$

1분대에서 전후서기 자세의 균형자세 2와 불균형자세 6, 무릎굽혀서기의 균형자세 3과 불균형자세 7에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$).

3, 5분대에서는 기준서기, 전후서기, 무릎굽혀서기, 쪼그려앉기의 균형자세와 불균형 자세에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다($p < 0.05$). 그러나 쪼그려앉기의 불균형 자세에서는 근전도의 평균값이 적어 쪼그려앉기에서는 불균형 자세가 균형자세보다 근육부담이 적은 것으로 나타났다.

위 결과에서, 장시간 동안 작업 시 기준서기, 전후서기, 무릎굽혀서기에서는 불균형 자세가 균형자세보다 요부척추 기립근에 부담을 주는 것으로 나타났다.

4. 결론 및 토의

본 연구는 근골격계 질환의 발생원인으로 알려져 있는 하지의 불균형 작업자세에 대하여 정적인 작업 시간을 고려하여 실험을 진행하였다. 균형과 불균형의 하지 작업자세에서 근전도(EMG) 실험을 통해 하지 근육들의 활동을 평가하였다.

본 연구의 결과로서 대퇴직근에서는 작업 시간이 지날수록 전후서기 자세와 무릎굽혀서기에서 오른발에 체중을 모아 지지하는 불균형요인에 의해 작업부하가 증가되는 것을 알 수 있었다. 대퇴이두근에서는 작업 시간이 지날수록 전후서기와 무릎굽혀서기에서 불균형자세에 의해 작업부하가 증가되는 것을 알 수 있었다. 특히 무릎굽혀서기 자세에서는 불균형 영향이 초기부터 크게 나타났다. 그리고 요부척추기립근에서는 작업 시간이 지날수록 기준서기, 전후서기, 무릎굽혀서기, 쪼그려앉기 자세의 불균형 자세에 의해 작업부하가 증가되는 것을 알 수 있었다.

따라서 본 연구결과는 우리나라 제조업체의 작업장에 존재하는 근골격계 질환을 발생시킬 수 있는 대표적인 하지의 불균형 작업자세들에 대한 근육별 작업부하를 알 수가 있어 하지의 피로 및 통증을 예방하기 위한 기초자료로 활용될 수가 있을 것이며, 작업자의 작업환경 개선 및 작업방법 설계에도 도움이 될 것으로 기대된다.

참고 문헌

김규상, 홍창우 외, "작업특성에 따른 인간공학적 유해요인 평가 방법 도구 개발에 관한 연구-작업특성에 따른 근골격계 증

상, 동작수행능력 및 인간공학적 평가", 한국산업안전공단 산업안전보건연구원 연구보고서, 2005.
 김대성, 양성환, 이인섭, "제조업 근로자의 작업자세 평가 및 관리 방안", 대한설비관리학회지, 2002.
 김유창, 류영수, "쪼그려 앉은 작업에서 신체부담작업의 평가", 대한인간공학회지, 2005.
 김유창, 이태현, 정현욱, "맨홀작업의 근골격계 질환 실태에 관한 연구", 안전경영과학회 춘계학술대회 논문집, 2001.
 김유창, 정현욱, "미국의 인간공학 프로그램과 한국에서의 적용방안", 한국산업안전학회 추계학술대회, 2000.
 김유창, 최용환, "전화번호 안내원의 근골격계 질환 실태에 관한 연구", 대한인간공학회 추계학술대회 논문집, 2000.
 김철홍, 김승남, 이준엽, 윤덕기, 조성애, "자동차공장 작업자의 근골격계 질환 실태에 관한 연구: Part I", 대한인간공학회 춘계학술대회 논문집, 2000.
 노동부, "2005년도 산업재해 현황", 2005.
 농촌진흥청, "농업인 직업성 질환 관련 위험요인 평가 및 종합적 관리시스템 개발", 2002.
 이인석, 정민근, "쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가", 대한산업공학회지, 1998.
 이인석, 정민근, 기도형, "심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가", 대한인간공학회지, 2002.
 정민근, 최경임, 송영웅, 이인석, 이명수, "정비작업에 대한 인체역학적 부하 및 작업자세 평가", 대한인간공학회지, 제16권, 제3호, 1997.
 Corlett, E. N., Wilson, J. and Manenica, I., "The Ergonomics of Working Postures: Models, Methods and Cases", Taylor & Francis, London, 1986.
 Genaidy, A. M., Al-shedi, A. A. and Karwowski, W., "Postural Stress Analysis in Industry", Applied Ergonomics, 1994.

● 저자 소개 ●

- ❖ 홍 창 우 ❖ mike77@rda.go.kr
 동의대학교 산업경영공학과 박사
 현 재: 농촌진흥청 농촌지원국 농촌생활지도사
 관심분야: 농작업 안전 및 재해예방, 인간공학적 작업환경개선
- ❖ 김 유 창 ❖ yckim@deu.ac.kr
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현 재: 동의대학교 산업경영공학과 교수
 관심분야: 근골격계 질환, 산업안전보건, 제조물책임

논문접수일 (Date Received) : 2009년 05월 20일
 논문수정일 (Date Revised) : 2009년 06월 11일
 논문게재승인일 (Date Accepted) : 2009년 06월 12일