

주관적 작업부하를 이용한 하체 서포터 평가에 관한 연구

김유창[†] · 장은준

동의대학교 산업경영공학과
(2008. 3. 26. 접수 / 2008. 9. 8. 채택)

The Study Used Brog's Scale on the Lower Extremity Supporter

Yu-Chang Kim[†] · Eun-June Chang

Department of Industrial Management Engineering, Dong-Eui University
(Received March 26, 2008 / Accepted September 8, 2008)

Abstract : This study focused on the decreased effect of the work load on using the lower extremity supporter in kneeling posture. Fatigue measures included subjective discomfort ratings through the use of the Borg's CR-10 scale based parameters. The resting period and work method were considered as independent variables. The break time conditions are grouped into 10 seconds after work for 1 min and not exist break time. The method of work conditions are divided into four types. There are kneeling with the lower extremity supporter, kneeling with the knee protector, just kneeling and squatting. The result of the ANOVA of the shift value of subjective discomfort showed the followings: 1) There were differences as regards to the method of the work, the break time and the part of body($p \leq 0.05$). 2) The lower extremity supporter showed the least subjective discomfort in other part of body except the upper leg.
Key Words : MSDs, lower extremity supporter, subjective discomfort

1. 서론

작업관련 근골격계질환은 최근 사업장의 집단적인 발병, 산업재해자수의 급증 등으로 인하여 산업보건분야의 주된 문제가 되고 있다. 근골격계질환의 유해요인으로는 부적절한 작업자세, 과도한 중량물 취급, 정적인 자세, 접촉 스트레스 등을 꼽고 있다. 특히, 부적절한 작업자세는 중량물의 무리한 취급과 함께 근골격계질환 유발의 주요 요인으로 꼽히고 있으며, 근골격계 통증과 부적절한 작업 자세와의 연관관계는 이미 많은 연구 결과에서 보고되고 있다^{4,12,14}. 부적절한 작업자세 중 무릎에 과도한 굽힘을 요구하는 쪼그려 앉거나 무릎을 꿇는 자세는 작업현장에 다수 존재하며¹⁰, 작업자의 건강을 위협을 하고 있다.

쪼그려 앉거나 무릎을 꿇는 작업자세는 한국의 작업근로자들에게는 매우 익숙한 자세 중 하나로 조선업에서의 용접, 절단, 연마 등의 작업, 자동차 조립라인, 농작업, 기계 수리 작업 등 다양한 작업 현장에서 자주 일어난다고 보고되고 있다^{2,3}. 쪼그

려 앉거나 무릎을 꿇는 자세를 가진 작업은 매우 낮은 작업점을 가지고 있고, 높은 수준의 눈-손 협응 동작(hand-eye coordination)을 요구한다. 이러한 작업은 보통 정밀도를 요하거나 정적인 자세를 유지하는 작업에서 볼 수 있는데, 중량물 취급 등의 작업에 비해 순간적인 생체역학적 부하는 크지 않다 하더라도 장기간 지속함으로 인해 작업자의 근골격계에 나쁜 영향을 끼칠 수 있다. 특히, 건강한 작업자라도 정적자세를 오래 유지할 경우에는 근섬유질에 대한 잘못된 하중 분포로 인해 기능적 결함과 근섬유질의 퇴행성 변화를 유발할 수 있다^{6,8,11}. 또한, 무릎의 각도가 130° 이상 구부러지면, 이때 무릎 관절에 가해지는 압력은 서 있는 자세보다 7.8 배나 많다고 보고하고 있으며, 무릎 관절염의 원인은 오랫동안 바닥에 양반다리나 쪼그려 앉는 생활 습관이나 비만 또는 직업적인 이유로 많이 발생한다는 연구가 있다¹². 쪼그려 앉는 작업과 같이 무릎의 과도한 굽힘을 가져오는 자세는 대퇴사두근과 슬건의 힘을 상당히 축소시킨다고 보고되었으며⁷, 최근 연구에 의하면 이러한 근골격계질환을 유발할 수 있는 위험요인에 노출된 작업자(1일 2시간 이상 무릎을 굽히거나 쪼그리고 앉아서 작업을 하

[†]To whom correspondence should be addressed.
yckim@deu.ac.kr

는 작업자)는 위험요인에 노출 되지 않은 작업자(1일 2시간미만 무릎을 굽히거나 쪼그리고 앉아서 작업을 하는 작업자)에 비해 근골격계질환을 가질 확률이 2.77배 높다고 발표하였다¹⁾.

국내의 대표적인 산업인 동시에 작업의 특성상 많은 산업안전보건문제를 가지고 있는 조선업, 중공업, 자동차 제조업 등 다양한 작업현장에서 작업자들이 쪼그려 앉거나 무릎 꿇어 앉기 등 다양한 하지자세로 장시간 작업을 수행하고 있으나 이러한 자세들의 부하에 대한 연구가 많이 미진한 상태이다. 따라서 본 연구는 산업현장에서 빈번하게 일어나는 부적절한 작업자세인 쪼그려 앉는 자세에서 오는 부하를 줄여주기 위하여 개발된 하체 서포터 사용의 주관적 작업부하의 통계적 분석을 실시하여 작업부하(Work Load) 감소 효과를 조사하고자 한다.

2. 실험

2.1. 피 실험자

본 연구는 정적인 자세를 동반한 낮은 작업점을 가진 작업에서 작업방법에 따라 허리, 윗다리, 아랫다리, 무릎, 발목, 발가락, 전신의 주관적 작업부하의 데이터(data)를 기준으로 하체 서포터 사용의 효과를 알아보고자 하였다. 따라서 본 연구의 피실험자는 과거병력상 허리 및 하지에 통증 및 지각 이상 등의 근골격계장애가 없는 20대 남자 대학생 및 대학원생을 대상으로 예비실험을 통해 9명을 선정하였고, 각 피실험자의 실험순서는 난수표에 의해 랜덤으로 결정하였다. 피실험자들에게 예비실험을 통하여 실험의 내용, 방법 및 절차 등에 관하여 충분히 설명하였고, 실험기간 중 허리 및 하지 부위에 영향을 줄 수 있는 무리한 운동을 하지 않도록 교육을 실시하였다. Table 1에서와 같이 피실험자의 연령은 평균 25.2세, 신장 175.3cm, 체중 76.4kg이었다.

2.2. 주관적 작업부하 평가 및 신체부위

본 연구에서는 피실험자의 주관적 작업부하 평가는 Borg's CR-10 Scale을 사용하였으며⁸⁾, 평가 신체

Table 1. Age, height, weight of subjects

구분	연령(yr)	신장(cm)	체중(kg)
평균	25.2	175.3	76.4
표준편차	1.7	4.8	9.1

부위는 쪼그려 앉거나 무릎 꿇는 자세시 주로 사용되는 허리, 윗다리, 아랫다리, 무릎, 발목, 발가락 부위를 선정하였으며, 전신에 대해서도 실시하였다.

2.3. 실험변수의 설계

본 연구에서 선정한 독립변수와 종속변수는 아래 Table 2와 같다. 독립변수로는 정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업시 휴식시간과 작업방법을 선정하였고, 작업방법에 쓰인 작업보조도로 하체 서포터와 무릎보호대는 Fig. 1과 같다. 휴식시간은 유(10s/1min), 무의 2수준으로 구분하였고, 작업방법은 Fig. 2와 같이 하체 서포터(Lower extremity supporter)를 이용한 무릎 꿇기, 무릎 보호대(Knee protector)를 이용한 무릎 꿇기, 작업보조도구를 사용하지 않은 쪼그려 앉기(Squatting), 작업보조도구를 사용하지 않은 무릎 꿇기(Kneeling)의 4수준으로 구분하였다. 종속변수는 피실험자의 허리, 윗다리, 아랫다리, 무릎, 발목, 발가락, 전신의 주관적 작업부하 데이터(data)의 천이(Shift) 값 즉, 실험전의 작업부하와 실험후의 작업부하간의 차이 값으로 선정하였다.

2.4. 실험방법

하지의 자세는 고관절, 무릎 관절, 발목관절에서

Table 2. Independent and Dependent Variables

Variable	Substance
Independent variable	• Rest time - 有(10s/1min), 無
	• Work method - Lower extremity supporter - Knee protector - Just squatting - Just kneeling
	• The shift value of subjective discomfort

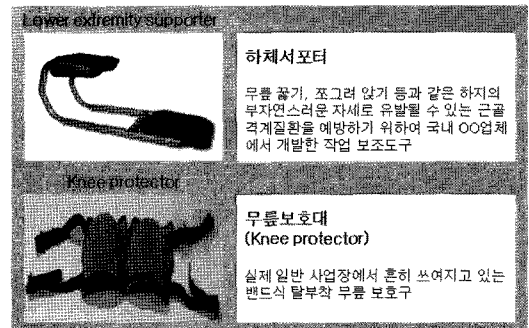


Fig. 1. Lower extremity supporter and Knee protector in study.

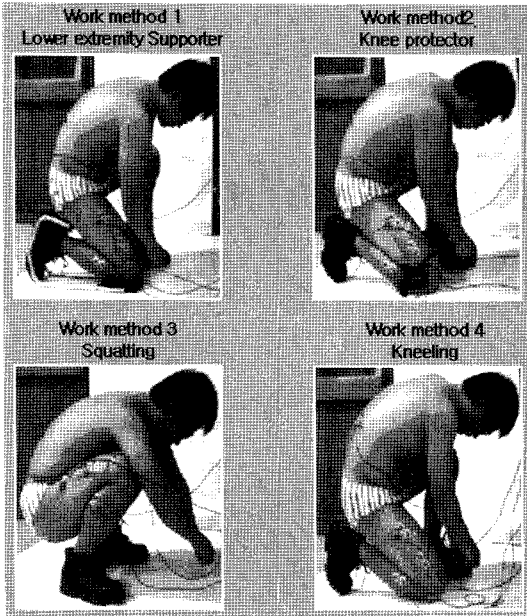


Fig. 2. Work method.

의 굴곡/신전 동작, 발의 위치, 무릎과 엉덩이의 지지 여부 등 다양한 요소에 의하여 결정된다. 이들 요소 중 하지의 작업부하 수준에 가장 큰 영향을 미치는 것이 무릎의 굴곡 자세인 것으로 연구된 바가 있는데³⁾, 이에 본 연구에서는 무릎의 가장 큰 굴곡을 요구하는 자세인 쪼그려 앉기와 무릎 꿇기 자세에 대하여 4가지 방법(하체 서포터를 이용한 무릎 꿇기, 무릎 보호대를 이용한 무릎 꿇기, 작업 보조도구를 사용하지 않은 쪼그려 앉기, 작업보조도구를 사용하지 않은 무릎 꿇기)에 대하여 4분간 정적인 자세 유지 후에 주관적 작업부하를 측정하였다. 자세 유지시 피실험자의 팔의 자세는 낮은 작업점에 대한 작업을 고려하여 바닥을 향해 자연스럽게 늘어뜨리도록 하였고, 각 실험의 결과가 다음 실험에 영향을 미치지 않도록 2~3시간 충분한 휴식을 취하게 하였다. 자세 유지 시간은 높은 근력을 필요로 하는 자세에는 10초, 중간은 1분, 그리고 약한 근력은 4분 이상을 유지하지 않도록 제한하고 있으며, RULA에서는 이를 바탕으로 하여 1분을 기준으로 정적인 자세 여부를 결정하고 있으나⁹⁾, 본 연구에서는 자세를 유지하는 것 외에 아무런 작업을 하지 않는 것을 고려하여 약한 근력 사용으로 가정하였으므로 자세 유지시간을 4분으로 정하였고, 실제 현장에서 일어날 수 있는 작업 중간 짧은 휴식을 고려하여 4분 동안의 정적인 자세에서 짧은 휴식이 주어졌을 때(10s/1min)와 휴

식이 주어지지 않았을 때 각각에 대해서도 측정하였다. 휴식시간은 실제 사업장에서 50분 작업후 10분의 휴식시간을 참고하여 분당 10초씩 편한 자세로 쉴 수 있는 휴식시간을 주었다. 또한, 예비 실험에서 낮은 작업점을 가진 작업시 쪼그려 앉는 작업방법을 제외한 모든 작업방법에서 직접적으로 작업부하를 받는 신체부위가 오른쪽 하지로 나타나 대상자의 오른쪽 신체부위에 대하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

자료의 분석에는 각 실험조건별로 피실험자들의 측정 데이터를 이용한 평균값을 사용하였다. 자료의 통계처리 및 분석은 상용 통계 프로그램인 SPSS 12.0 for Windows를 사용하였다.

3.1. 실험조건별 주관적 작업부하 평가 결과

휴식 및 작업방법에 따른 주관적 작업부하의 분산분석(ANOVA, Analysis of Variance) 결과 Table 3과 같이 휴식과 작업방법 모두 유의한 것으로 나타났다($p \leq 0.05$). 따라서 휴식과 작업방법에 따라 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.2. 허리의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업시 휴식시간 및 작업방법에 따른 허리에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 4와 같다. 허리에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간과 작업방법 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 휴식시간과 작업방법에 따른 허리의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 없다고 판단된다.

Table 3. The result of ANOVA for the dependent variables

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	6.631	1	6.631	8.060	0.006**
Work method	19.339	3	6.446	7.836	0.000**
Error	41.958	51	0.823		
Total	67.928	55			

Table 4. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the back

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	0.174	1	0.174	2.674	0.2
Work method	0.233	3	0.078	1.196	0.443
Error	0.195	3	0.065		
Total	0.603	7			

Table 5. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the upper leg

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	1.118	1	0.118	14.625	0.031**
Work method	0.942	3	0.314	4.11	0.138
Error	0.229	3			
Total	2.289	7			

3.3. 윗다리의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시 휴식시간 및 작업방법에 따른 윗다리에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 5와 같다. 윗다리에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간에 대해서는 유의한 것으로 나타났으나($p \leq 0.05$), 작업방법에 대해서는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 휴식시간에 따른 윗다리의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.4. 아랫다리의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시 휴식시간 및 작업방법에 따른 아랫다리에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 6과 같다. 아랫다리에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간에 대해서는 유의한 것으로 나타났으나($p \leq 0.05$), 작업방법에 대해서는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 휴식시간에 따른 아랫다리의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.5. 무릎의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시 휴식시간 및 작업방법에 따른 무릎에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 7과 같다. 무릎에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간에 대해서는 유의하지 않으며, 작업방법에 대해서는 유의한 것으로 나타났($p \leq 0.05$). 따라서 작업방법에 따른 무릎의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

Table 6. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the lower leg

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	3.472	1	3.472	13.571	0.035**
Work method	2.134	3	0.711	2.78	0.212
Error	0.767	3	0.256		
Total	6.373	7			

Table 7. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the knee

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	0.47	1	0.47	3.556	0.156
Work method	7.778	3	2.593	19.598	0.018**
Error	0.397	3	0.132		
Total	8.645	7			

Table 8. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the ankle

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	1.133	1	1.133	6.153	0.089*
Work method	5.511	3	1.837	9.98	0.045**
Error	0.552	3	0.184		
Total	7.195	7			

3.6. 발목의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시 휴식시간 및 작업방법에 따른 발목에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 8과 같다. 발목에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간과 작업방법 모두 유의한 것으로 나타났($p \leq 0.1$). 따라서 휴식시간과 작업방법에 따른 발목의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.7. 발가락의 주관적 작업부하 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시 휴식시간 및 작업방법에 따른 발가락에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 9와 같다. 발가락에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간에 대해서는 유의하지 않으며, 작업방법에 대해서는 유의한 것으로 나타났($p \leq 0.05$). 따라서 작업방법에 따른 발가락의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.8. 전신의 주관적 불편도 분산분석 결과

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업 시

Table 9. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the toes

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	0.781	1	0.781	1.635	0.291
Work method	13.903	3	4.634	9.697	0.047**
Error	1.434	3	0.478		
Total	16.119	7			

Table 10. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the whole body

Source	SS	DF	MS	F	p-value
Rest time	0.708	1	0.708	5.18	0.107
Work method	2.224	3	0.741	5.423	0.099*
Error	0.41	3	0.137		
Total	3.342	7			

Table 11. The result of ANOVA for the subjective discomfort of the different body parts

Body parts	Rest time	Work method
Back		
Upper leg		
Lower leg		
Knee		
Ankle		
Toes		
Whole body		

□ : It's not statistically significant.
 ▨ : It's statistically significant at the 0.1 level.
 ■ : It's statistically significant at the 0.05 level.

휴식시간 및 작업방법에 따른 전신에 대한 주관적 작업부하의 결과는 Table 10과 같다. 전신에 대한 주관적 작업부하의 분산분석 결과 휴식시간에 대해서는 유의하지 않으며, 작업방법에 대해서는 유의한 것으로 나타났다($p < 0.1$). 따라서 작업방법에 따른 전신의 주관적 작업부하는 유의한 차이가 있다고 판단된다.

3.9. 신체부위별 주관적 작업부하 결과 및 분석

정적인 자세를 동반한 낮은 작업점에서의 작업시 휴식시간 및 작업방법에 따른 신체부위별 주관적 작업부하 분산분석(ANOVA) 결과를 Table 11에 나타내었다. 휴식시간에 따라 유의한 차이를 보인 신체부위는 윗다리, 아랫다리, 발목으로 나타났으며, 작업방법에 따라 유의한 차이를 보인 신체부위는 쪼그려 앉는 자세나 무릎 꿇는 자세시 피실험자의 체중부하를 받는 무릎, 발목, 발가락 부위로 나타났다. 또한, 전신의 작업부하는 휴식시간에 대해서는 유의하지 않으며, 작업방법에 대해서는 유의한 것으로 나타났다. 특히, 하체 서포터의 사용은 무릎, 발목, 발가락, 전신 등에 작업부하 감소효과가 있다고 판단된다.

4. 결론 및 고찰

본 연구에서는 정적인 자세를 동반한 낮은 작업

점을 가진 작업에서 일반적인 작업방법에 따라 작업하는 작업자와 하체 서포터를 사용하는 작업자의 주관적 작업부하를 비교하여 보았다. 본 연구결과는 쪼그려 앉거나 무릎을 꿇는 작업자세가 요구되는 작업장에서 근골격계질환 예방을 위한 작업장 개선방안에 기여함과 동시에 추후 하지 자세 연구의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구의 주관적 작업부하 결과에서 유의한 차이를 보인 무릎, 발목, 발가락 부위와 같은 관절부위에 대한 생체역학적으로 뒷받침할 수 있는 연구가 추후 필요하며, 정해진 짧은 실험시간에 대한 연구보다 실제 현장작업과 같은 장시간의 작업에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구와 같이 근골격계질환을 예방할 수 있는 개선방안이 현장에 적용되기전 인간공학적인 실험연구를 통해 이론상의 개선이 아닌 경험적이고, 실질적인 개선이 되어져야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 김유창, 류영수, “쪼그려 앉은 작업에서 신체부담 작업의 평가”, 대한인간공학회지, 제24권, 제1호, pp. 37~41, 2005.
- 2) 이인석, 정민근, “쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가”, 대한산업공학회지, 제24권, 제2호, pp. 167~173, 1998.
- 3) 이인석, 정민근, 기도형, “심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가”, 대한인간공학회지, 제21권, 제4호, pp. 47~65, 2002.
- 4) A. Aras, R.H. Westgaard and E. Strandén, “Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations”, Ergonomics, Vol. 31, pp. 915~933, 1988.
- 5) A. Magora, “Investigation of the relation between low back pain and occupation”, Indus. Med. Surg., Vol. 39, p. 504, 1970.
- 6) D.B. Chaffin, “Human strength capability and low back pain”, J. Occ. Med., Vol. 9, pp. 248~254, 1974.
- 7) D.I. Caruntu, M.S. Hefzy, V.K. Goel, H.T. Goitz, M. J. Dennis, V. Agrawal, “Modeling the knee joint in deep flexion: thigh and calf contact”, In: Transactions of the Summer Bioengineering Conference, 459, 2003.
- 8) G. Borg, “Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion”, Scandinavian Journal of Work, Environment & Health, Vol. 16, No. 1, pp. 55~58, 1990.

- 9) L. McAtamney and E.N. Corlett, "RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders", *Applied Ergonomics*, Vol. 24, No. 2, pp. 91~99, 1993.
- 10) L.k. Jensen and W. Eenberg, "Occupation as a Risk Factor for Knee Disorders", *Scand. J. Work Environ. Health*, Vol. 22, No. 99. pp. 165~175, 1996.
- 11) P. Van Wely, "Design and disease", *Applied Ergonomics*, Vol. 1, pp. 262~269, 1970.
- 12) S.C Lee, "<http://www.arthritiscenter.co.kr/>", Unpublished clinical report, 2004.
- 13) T.J. Armstrong, "Upper-extremity postures: definition, measurement and control. In Corlett, E.N., Wilson, J. And Manenica, I.(Eds.)", *The ergonomics of working postures, Models, methods and cases 59-73*, Taylor & Francis, London, 1986.
- 14) T.J. Armstrong, P. Buckle, L.J. Fine, M. Harberg, B. Jonsson, A. Kilbom, I.A.A. Kuorinka, B.A. Silverstein, G. Sjogaard and E. R. A. Viikari-Juntura, "A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders", *Scan. J. Work Environ Health*, Vol. 19, pp. 73~84, 1993.