Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 6 pp.933-941, December 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.6.933

농작업에서 발생하는 하지자세의 근골격계 질환 위험도 평가를 위한 인간공학적 평가도구 개발

공용구[1] · 한준구[2] · 김대민[2]

[1]성균관대학교 시스템경영공학과 / [2]성균관대학교 산업공학과

Development of an Ergonomic Checklist for the Investigation of Work-related Lower Limb Disorders in Farming - ALLA: Agricultural Lower-Limb Assessment

Yong-Ku Kong[1], Jun-Goo Han[2], Dae-Min Kim[2]

[1]Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746
[2]Department of System Management Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746

ABSTRACT

Objective: To develop an ergonomic evaluation tool which can be apply to assess the lower-limb postures associated with farming tasks. Background: In general, most of existing ergonomic assessment tools was developed to investigate the work-related musculoskeletal disorders of the upper-limb postures in manufacturing industry. **Methods:** As the first step of development of the evaluation tool, 13 lower-limb postures that were commonly observed in farming task were investigated by the subjective discomfort ratings, heart rates, and muscle activities. And then, an ergonomic evaluation tool for the lower-limb postures was developed based on results of the first experiment. Lastly, the ergonomic checklist which was developed in the current study was compared with other existing ergonomic assessment tools. **Results:** Based on the results of comparisons between a newly developed assessment tool and other existing assessment tools, it was found that a newly developed tool can perceive more sensitively for the various lower-limb postures than other assessment tools. **Conclusions:** Lower-limb posture assessment tool which can evaluate and assess risks of lower-limb WMSDs which were prevalent in farming tasks more easily and accurately was developed in this study. The lower-limb assessment tool can also be utilized to prevent WMSDs related with lower-limbs as well as improve working environments.

Keywords: Lower body postures, Ergonomics checklist, Farming

1. 서 론

농업인 경제활동 인구의 감소, 농업인의 고령화, 호당 농가인구의 감소는 호당 경지면적의 증가를 가져왔으며 결과적으로 심각한 노동력의 감소와 노동강도의 증가를 가져왔다. 노동강도의 증가와 더불어 노동인구의 노령화는 젊은이에 비해 생체 회복력이 떨어지는 노인들의 근골격계 질환의

*본 논문은 농촌진흥청 농업과학기술개발 공동연구사업(Agenda 4-8-24, 2010)의 지원을 받아 수행되었음.
교신저자: 김대민
주 소: 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300, 전화: 031-290-762, E-mail: kimdaemin@skku.edu

증가를 가져오며 전체 농업인의 근골격계 질환의 유병률을 높이는 것으로 사료된다. 농업인의 근골격계 질환 유병률은 2001년도 국민건강영양 조사에서(30세 이상 농림어업인 중 의사로부터 진단받은 유병자) 농림어업인이 46.5%로 비농림어업인의 19.5%에 비해 2.4배였으며, 증상 유병률은 농어업인(61.5%)이 비농어업인(25.1%)에 비해 2.5배였다(농촌진흥청, 2004).

2006년도 농작업안전모델 시범 및 장기농업인 건강연구평가 사업 조사 결과, 농업인의 근골격계 증상 유병률은 80.6%로 매우 높았으며, 이 중 83.2%가 농작업이 원인인 것으로 농업인 스스로 인식하고 있었으며 주로 허리(52%), 다리/무릎(51%) 및 어깨(38%) 등의 부위에 집중되어 제조업체 근로자에 비해 하지 부위 증상의 호소율이 높은 특징을 보였다(농촌진흥청, 2008).

작업 관련성 근골격계 질환(Work-related Musculoskeletal Disorders)의 발병 위험도를 예측하기 위해 개발된 기존 인간공학적 평가도구들의 대부분은 일반 산업장의 제조업체들을 대상으로 상지 자세에 대해서만 연구되어 이들의 작업환경평가에 적합하도록 개발되었다(van Wely, 1970; Grandjean and Hunting, 1977; Corlett et al., 1986; Aarås et al., 1988; Armstrong et al., 1993; Lee, 2004). 현재 많이 사용되고 있는 REBA(Rapid Entire Body Assessment)는 간호사, 청소부 등 비고정적이고 예측이 힘든 다양한 자세에서 이루어지는 서비스업에서의 전체적인 신체에 대한 부담 정도와 유해인자의 노출 정도를 분석하기 위한 목적으로 개발되었으나 반복성과 노출시간에 대한 고려가 미흡한 것이 단점이며(Hignett et al., 2000), RULA (Rapid Upper Limb Assessment)는 특히 어깨, 팔목, 손목, 목 등 상지(Upper Limb) 분석에 초점을 맞추어서 작업자세로 인한 작업부하를 쉽고 빠르게 평가할 수 있지만 자세분류별 부하수준을 결정할 때 기존의 논문 등 문헌고찰만을 바탕으로 하고 있기 때문에 근거가 미약하다는 점과 상지의 분석에만 초점을 맞추고 있기 때문에 전신의 작업자세 분석에는 한계를 가진다는 단점이 있다(McAtamney and Corlett, 1993).

OWAS(Ovako Working-posture Analysis System)는 철강업에서 작업자들의 부적절한 작업자세를 평가하기 위해 개발되었는데 배우기 쉽고 현장에 적용하기 쉬운 장점 때문에 많이 이용되고 있으나 상지 뿐만 아니라 하지 자세 모두 작업자세를 너무 단순화했기 때문에 세밀한 분석이 어렵고 반복성과 노출시간에 대한 고려가 미흡하다(Karhu et al., 1977).

PATH(Posture, Activity, Tools, and Handling)는 허리, 목, 다리, 팔 부위 중 다리 부위의 10가지 자세에 대해 정성적인 분석이 가능한 평가도구로서, 불규칙적인 작업형태나 건축업 직무에 대한 평가도구로 개발되었다. PATH를 이용하여 작업별 근골격계 위험을 비교(Forde, 2002)하는데 활용되기도 하였다. 하지만, PATH의 경우는 OWAS와 마찬가지로 반복성과 노출시간을 검토할 수 없으므로 유지 자세의 평가에 어려움이 있으며, 허리와 어깨를 제외한 평가를 실시하였기 때문에 거의 모든 자세를 검증할 수 없는 한계점이 있다(Buchholz et al., 1996).

Keyserling(1992)에서 다리와 몸통 그리고 목에 발생되는 불편한 자세로부터 인간공학적 요소를 평가하기 위한 체크리스트를 개발하여 사용하였다. 하지의 자세 중 서서 페달을 밟는 자세, 똑바로 눕거나 옆으로 누운 자세, 무릎 꿇은 자세, 쪼그려 앉은 자세 등에 대해서 작업이 지속되는 동안 얼마나 자주 발생하는지를 체크하여 평가할 수 있도록 구성이 되어 있다. 이 체크리스트의 경우 하지 자세가 7가지로 구성이 되어 있지만, 자세가 단순화 되어 있으며, 자세의 발생 횟수만 측정가능하며, 하지 자세에 대한 세밀한 분석이 어렵다.

예를 들면 쪼그려 앉는 작업자세와 바닥에 앉는 자세, 그리고 서서하는 작업에서 상지의 자세가 동일하다면 세 작업자세를 구별하여 평가하는데 기존 방법들로는 한계가 있다. 농작업 활동은 일반적인 제조업체 작업에서는 보기 드문 "쪼그려 앉은 자세" 등 특이적인 작업자세가 많아 기존 제조업체 대상으로 개발된 인간공학적 평가도구들은 농작업 활동을 평가하는데 한계가 있으며, 농업인들의 농작업 관련 근골격계 질환 유병률에 대한 예측/평가 목적으로 활용하기에도 한계가 있다고 할 수 있다(이인석과 정민근, 1997; 이인석 외, 2002; 김유창과 류영수, 2005).

그러므로, 본 연구의 목적은 첫째, 농작업에서 흔히 관찰되는 하지 자세(13자세)들을 대상으로 인체생리학적 실험의 결과를 바탕으로 우리나라 농작업, 특히 하지부담 작업 평가를 위한 인간공학적 평가도구를 개발하고자 한다. 둘째, 개발된 하지부담 작업의 인간공학적 평가도구를 기존의 평가도구들과 비교 평가 하고자 한다.

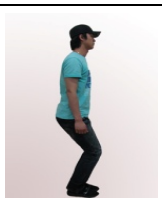
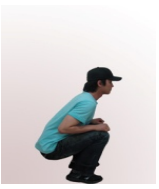
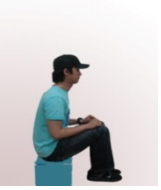
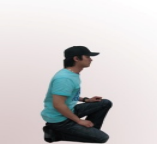
2. 하지부담 작업 평가도구 개발 체계

1절 연구의 목적에서도 언급하였듯이 농작업 현실에 맞는 다양하고 세분화된 인간공학적 하지 평가도구를 개발하기 위해 본 연구의 인체생리학적 실험 결과는 선행연구 공용구 외(2009)의 인체생리학적 실험 방법 및 생리학적 실험 결과를 사용하였다.

2.1 인체생리학적 실험 방법

본 연구는 허리와 하지에 근골격계 관련 질환의 경험이 없는 남자 대학생 및 대학원생 30명이 참여하였으며, 하지 자세 13개 자세(표 1)에 주관적 불편도, 심박수, 그리고 각 근육의 근전도를 측정하였다. 주관적 불편도는 Borg's RPE, CR-10 scale을 사용하였으며, 근전도 측정에 사용된 근육으로는 척추세움근(Erector Spine, ES)과 대퇴이두근(Biceps Femoris. BF)과 내측광근(Vastus Medials, VM), 그리고 비복근(Gastrocnemius, GT)과 전경골근(Tibialis Anterior, TA)이 있다.

표 1. 농작업 관련 13가지 하지 자세

	대분류	소분류	기호	자세(예)
1	선 자세	선 자세	STD	
2		무릎 각도 150°	KF150	
3		무릎 각도 120°	KF120	
4		무릎 각도 90°	KF90	
5	쪼그려 앉은 자세	무릎 각도 60°	KF60	
6		무릎 각도 30°	KF30	
7		무릎 각도30° + 까치발	KF30C	
8	앉은 자세	의자높이 40cm, 앉은 자세	SC40	
9		의자높이 20cm, 앉은 자세	SC20	
10		의자높이 0cm, 앉은 자세	SC0	
11		책상다리로 앉은 자세	SF_CRS	
12	다리 괴기	한 쪽 다리 괴기	KNL_one	
13		양 쪽 다리 괴기	KNL_two	

2.2 인간공학적 평가도구 개발

농작업에서 흔히 관찰되는 13개 자세를 대상으로 실시된 인체생리학적 실험 결과와 기존 인간공학적 평가도구들간 비교 분석을 통하여 우리나라 농작업, 특히 하지부담 작업에 대한 인간공학적 평가도구를 개발하였다. 인체생리학적 실험 결과(공용구 외, 2009)를 토대로 3단계 – 첫째, 작업자세에 대한 위험수준 설정, 둘째, 노출시간에 대한 위험수준 설정, 셋째, 작업자세와 작업시간을 함께 고려한 위험수준 설정 – 과정을 거쳐 새로운 인간공학적 평가도구를 개발하고자 한다.

2.2.1 작업자세에 대한 위험수준 결정

작업자세에 대한 위험수준을 결정하기 위해 인체생리학적 실험 단계에서 평균 불편도, 평균 심박수, 근전도 값들을 기초로 통계적 분석 결과(공용구 외, 2009) 유의한 결과를 보이는 그룹에 따라 위험도 점수를 분배하였다. 평균 불편도와 평균 심박수는 각 변수의 값들에 따라 크게 4개의 그룹으로 나누어 1점에서 4점의 점수를 부여하였다. 불편도의 경우는 불편도가 가장 낮은 그룹에 1점, 불편도가 가장 높은 그룹에 4점을, 심박수의 경우는 심박수가 낮은 그룹에 1점, 심박수가 높은 그룹에 4점을 할당하였다. 반면, 근전도의 경우에는 피로도 분석을 통해 각 근육의 피로 여부에 대해 피로함이 없으면 0점과 피로함이 있으면 1점으로 분배하였다. 각 근육의 피로 여부는 각 작업자세에 대한 근전도를 측정할 때 초기 근전도의 주파수와 말기 근전도의 주파수를 비교하여 말기 근전도의 주파수가 초기 근전도의 주파수보다 낮게 나타나면 근육이 피로하였다 하여 1점을 부여하고, 큰 변화가 없거나 높게 나타나면 근육이 피로해지지 않았다 하여 0점을 부여하였다(현수돈과 김정룡 1997; Minning et al., 2007). 각 자세별로 각 변수에 부여된 점수를 합하여 최종 위험도를 산출하게 된다.

2.2.2 노출시간에 대한 위험수준 결정

노출시간에 대한 위험수준을 결정하기 위하여 13자세에 대하여 3분마다 측정된 불편도 결과를 기초로 회귀식을 구하였다. 회귀식을 기초로 산출된 불편도 값들은 Borg's RPE와 Borg's 10 points 모델을 참고하여 위험수준을 4단계로 재 분류하였다.

2.2.3 작업자세와 시간을 모두 고려한 위험수준 결정

작업자세에 대한 위험수준 결과와 노출시간에 대한 위험수준 결과를 종합하여, 작업자세만을 고려한 체크리스트와 작업자세와 노출시간을 모두 고려한 체크리스트를 개발하였다.

2.3 개발된 인간공학적 평가도구 비교 분석

개발된 인간공학적 평가도구를 비교 분석하여 우리나라 농작업 분석에의 적용 가능성을 검토하고자 하였다. 특히, 하지 관련 실제 농작업 자세들의 WMSDs 위험도 분석을 위해 현재 널리 사용되고 있는 체크리스트 형 인간공학적

평가도구인 REBA, OWAS 등과 본 연구를 통해 개발된 체크리스트와 비교 분석하였다.

3. 평가도구 개발

3.1 인간공학적 평가도구 개발

3.1.1 작업자세에 대한 위험수준 결정

(1) 점수 분배 방법

표 2와 같이 평균 불편도와 평균 심박수를 이용한 점수 분배 결과를 살펴보면, 불편도에 따른 몸 전체의 점수를 분배한 결과 KF60, KF90일 때 가장 높은 점수 4점을, 앉은 자세와 서있는 자세에서는 1점을 할당 받았다. 각 국소 부위의 점수는 전체에 대한 불편도와 마찬가지로 KF60, KF90일 때 가장 높은 점수를 받았으며 대체로 앉은 자세와 서있는 자세에서 가장 낮은 자세를 받았다. 그 외의 자세는 부위에 따라서 차이를 조금씩 보이는 것으로 나타났다. 심박수에 따른 점수의 경우도 불편도 유사한 결과를 보인 것으로 나타나, KF60, KF90, KF120의 자세에서 4점을, 앉은 자세에서 1점을 할당 받았다.

표 2. 불편도와 심박수 결과에 기초한 점수 분배

		4	3	2	1
불편도	전체	KF60, KF90	KF120	KF30, KF30C, KF150, KNL_1, KNL_2	SC0, SC20, SC40, SF_CRS, STD
	허리	KF60, KF90, KF120, SC0	KF30, KNL1, KNL2	KF30C	KF150, SC20, SC40, SF_CRS, STD
	허벅지	KF60, KF90	KF120	KF30, KF30C, KF150, KNL_1, KNL_2	SC0, SC20, SC40, SF_CRS, STD
	종아리	KF30C, KF60, KF90	KF30, KF120, KNL1, KNL2	KF150	SC0, SC20, SC40, SF_CRS, STD
심박수		KF60, KF90, KF120	KF150	KF30, KF30C, KNL_1, KNL_2, STD	SC0, SC20, SC40, SF_CRS

표 3은 근전도의 피로도 분석을 통해 근육의 피로 여부를 각 근육별, 각 부위별 점수를 보여주고 있다. 허리의 경우 KF150, KF120, KF60, KF30, KF30C, KNL_1, KNL_2의 자세에서 시간이 지남에 따라 근육의 피로가 발생하여 1점을 받았으며, 허벅지의 경우는 KF150과 KF120의 자세에서 대퇴이두근과 내측광근 두 근육 모두 피로가 발생하여 두 근육의 점수를 합한 2점을 받았으며, KF90과 KF60은 내측광근의 피로로 인해 1점, KNL_1은 대퇴이두근의 피로로 인해 1점을 받았다. 종아리 근육은 SC0과 SF_CRS 자세를 제외한 모든 자세에서 근육의 피로가 발생하였다. 그 중 KF150, KF120 그리고 KF90의 자세에서는 비복근과 전경골근 두 근육 모두에서 피로가 발생하여 2점을 받고 나머지 자세에서는 각 1점씩을 받았다.

표 3. 근전도 결과에 기초한 점수 분배

	허리		허벅지			종아리		
	척추 세움근	총점	대퇴 이두근	내측 광근	총점	비복근	전경 골근	총점
STD	0	0	0	0	0	1	0	1
KF150	1	1	1	1	2	1	1	2
KF120	1	1	1	1	2	1	1	2
KF90	0	0	0	1	1	1	1	2
KF60	1	1	0	1	1	0	1	1
KF30	1	1	0	0	0	0	1	1
KF30C	1	1	0	0	0	0	1	1
SC40	0	0	0	0	0	0	1	1
SC20	0	0	0	0	0	0	0	0
SC0	0	0	0	0	0	0	1	1
SF_CRS	0	0	0	0	0	0	0	0
KNL_1	1	1	1	0	1	0	1	1
KNL_2	1	1	0	0	0	0	1	1

(2) 평가 항목표 작성

3.1.1절의 (1)점수 분배 방법을 기반으로 평가 항목표를 작성하기 위해서는 종속변수별(불편도, 심박수, 근전도) 해당하는 부위의 점수를 기입한 후 평균값을 합산하게 된다. 예를 들어 KF60의 경우 불편도 점수는 표 2에 의하면 전체, 허리, 허벅지, 종아리 각각의 점수가 4점이며, 평균은 4점에 해당되고, 심박수의 경우 역시 4점이고 근전도 점수는 표 3에 의하면 허리, 허벅지, 종아리, 각각의 점수가 1점이므로 근전도의 평균 점수는 1점이 된다. 그러므로, 각 항목의 평균 점수를 합산하게 되면 9점이 된다(표 4).

위와 같은 방법으로 13가지 자세에 대하여 점수를 구하였고, 최종적으로 점수가 높은 것부터 순서대로 나열하고 분

표 4. 자세별 점수화 예시(KF60)

	전체	허리	허벅지	종아리	평균
불편도	4	4	4	4	4
심박수	4				4
근전도	–	1	1	1	1
–				합계	9

표 5. 자세별 위험수준 점수 및 위험수준 평가

자세	점수	위험수준 / 평가
KF60	9	4 / 매우 높음
KF90	9	
KF120	8.92	
KF150	6.42	3 / 높음
KNL_1	5.5	
KF30C	5.17	
KF30	5.17	
KNL_2	5.17	
STD	3.33	2 / 약간 높음
SC0	3.05	
SC40	2.30	1 / 보통
SC20	2.00	
SF_CRS	2.00	

포상의 특성을 고려하여, 위험수준과 평가를 다음의 표 5과 같이 4단계로 구분하였다.

위험수준이 가장 낮은 1수준은 자세별 위험 점수가 2.0~2.3이었고, SC40, SC20 및 SF_CRS 자세가 해당되었으며, 2수준 자세별 위험 점수는 3.1~3.3이었으며 STD 및 SC0 자세가 해당되었다. 또한 위험수준 3에 해당하는 자세인 KF150, KNL_1, KF30C, KF30 및 KNL_2의 위험 점수는 5.2~6.4였으며, 위험수준이 가장 높은 4수준은 자세별 위험 점수가 8.9~9.0였으며 해당되는 자세는 KF60, KF90 및 KF120이었다.

3.1.2 노출시간에 대한 위험수준 결정

(1) 점수 분배 방법

13자세에 대하여 3분마다 측정된 불편도 결과를 기초로 회귀식을 구하였다(표 6). 회귀식에서 x에 노출시간(분)을 대입하면 신체 불편도 값 y가 산출되게 된다(표 7).

이때 신체 불편도 값의 경우 신체 부위 전체는 Borg's RPE 점수를 의미하며, 국소 부위(허리, 허벅지, 종아리)의 경우에는 Borg's 10 points를 의미한다. 회귀식을 기초로 산출된 불편도 값들은 3.1.1절과 같이, 위험수준을 4단계로

표 6. 작업자세별 지속시간과 불편도 변화에 대한 회귀식 (예: STD, KF150, KF120)

STD	전체	y=0.152x + 6.99
	허리	y=0.076x + 0.511
	허벅지	y=0.086x + 0.641
	종아리	y=0.131x + 0.585
KF150	전체	Y=0.273x + 9.611
	허리	Y=0.273x + 1.160
	허벅지	Y=0.220x + 2.442
	종아리	Y=0.198x + 2.146
KF120	전체	Y=0.240x + 13.27
	허리	Y=0.171x + 2.027
	허벅지	Y=0.196x + 5.642
	종아리	Y=0.275x + 3.119

표 7. 회귀식에 의해 산출된 작업자세별 노출시간별 불편도 (예: STD, KF150, KF120 / 단위: 분)

	시간(분)	1	2	3	4
STD	전체	7.043	7.216	7.389	7.562
	허리	0.57	0.65	0.73	0.81
	허벅지	0.706	0.796	0.886	0.976
	종아리	0.689	0.826	0.963	1.1
KF 150	전체	9.884	10.157	10.43	10.703
	허리	1.233	1.306	1.379	1.452
	허벅지	2.662	2.882	3.102	3.322
	종아리	2.344	2.542	2.74	2.938
KF 120	전체	13.51	13.75	13.99	14.23
	허리	2.198	2.369	2.54	2.711
	허벅지	5.838	6.034	6.23	6.426
	종아리	2.344	2.542	2.74	2.938

재분류하였다. 즉, 국소 신체 부위에 적용되는 Borg's 10 points의 경우, 1수준은 0~0.7점 구간으로, 2수준은 0.7~2.0점 구간으로, 3수준은 2.0~5.0점 구간으로, 4수준은 5.0~10점 구간으로 구분하였다. 그리고 전체 신체 부위에 적용되는 Borg's RPE의 경우, 1수준은 1.0~9.0점 구간으로, 2수준은 9.0~12점 구간으로, 3수준은 12~17점 구간으로, 4수준은 17~20점 구간으로 각각 나누었다.

위 결과들을 토대로 각각의 자세에서 4단계 위험수준에 이르는 필요 노출시간을 정리하면 표 8과 같다. 자세에 따라 신체 부위별로 특정 불편도에 이르는 시간에 서로 차이가 있으므로 가장 먼저 위험수준에 도달하는 부위 – 특정 자세에서 신체부담을 가장 빨리 느끼는 부위 – 를 선별하

여 해당 자세의 노출시간에 따른 불편도로 최종 채택하였다. 예를 들면, STD, KF30, KF30C, KNL_1 및 KNL_2 자세의 경우에는 가장 위험한 4수준에 이르는데 필요한 최소 노출시간이 종아리에서 가장 짧았으므로 이후 평가를 위해 종아리 부위 결과를 채택하였으며, KF150 및 KF120 자세의 경우에는 가장 위험한 4수준에 이르는데 필요한 최소 노출시간이 허벅지에서 가장 짧았으므로 이후 평가를 위해 허벅지 부위 결과를 채택하였다(표 8). 각 자세별로 노출시간에 따른 불편도 값을 기초로 위험수준을 구분하여 정리하면 그림 1과 같다.

표 8. 작업자세별 4 단계 위험수준에 이르는 필요 노출시간 (예: STD, KF 150, KF120 / 단위: 분)

자세	부위	1수준	2수준	3수준	4수준
STD	전체	1-12	13-29	30-58	59-76
	허리	1-2	3-18	19-56	57-119
	허벅지		1-15	16-48	49-105
	종아리		1-10	11-32	33-69
KF150	전체		1-8	9-27	28-39
	허리		1-11	12-52	53-122
	허벅지			1-11	12-35
	종아리			1-14	15-40
KF120	전체			1-15	16-29
	허리			1-17	18-47
	허벅지				1-23
	종아리			1-14	15-40

즉, 작업자세가 KF150이고 10분간 이 자세로 작업을 하였다면, 그림 2에서 KF150을 선택하고 다음으로 노출시간 1~11분 사이의 조건을 추가로 선택하면 위험수준은 3수준에 해당되는데 이는 위험도를 '높음'으로 평가할 수 있다. KF120, KF90 및 KF60 자세의 경우, 고정된 자세로 1분 이상 유지되는 경우 위험수준이 4수준에 해당되어 위험도가 "매우 높음"으로 평가됨으로 이런 자세가 1분 이상 유지되지 않도록 하여야 함을 보여준다.

3.1.3 작업자세와 작업시간을 함께 고려한 위험수준 결정

표 5와 그림 1을 종합하면 작업자세별 점수와 노출시간별 점수에 따른 두 가지의 체크리스트가 생성되며 이 점수표를 정리하면 그림 2와 같다.

그러므로, 작업현장여건에 따라 두 가지 경우 중 한 가지를 선택하여 인간공학적 평가를 수행할 수 있다. 첫 번째 경우는 작업자세만 관찰했을 때, 그림 2의 좌측 <자세별 위험수준>에서 해당 작업자세를 선택하여 위험수준을 판별하고, 두 번째 경우인 작업자세와 작업시간(노출시간)을 동시에 관측을 하였다면 우측 <자세와 시간을 고려한 위험수

	선자세 (STD)	무릎각도 150 (KF150)	무릎각도 120 (KF120)	무릎각도 90 (KF90)	무릎각도 60 (KF60)	무릎각도 30 (KF30)	무릎각도 30+ 까치발 (KF30C)	한쪽 다리괴기 (KNL_1)	양쪽 다리괴기 (KNL_2)	양반다리 (SF_CRS)	의자높이 0cm (SC0)	의자높이 20cm (SC20)	의자높이 40cm (SC40)
1	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	1분	1분
2	1~10 분	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	해당 없음	1~10 분	1분	2~12 분	2~17 분
3	11~32 분	1~11 분	해당 없음	해당 없음	해당 없음	1~8 분	1~2 분	1~3 분	1~4 분	11~34 분	2~17 분	13~38 분	18~56 분
4	33분 이상	12분 이상	1분 이상	1분 이상	1분 이상	9분 이상	3분 이상	4분 이상	5분 이상	35분 이상	18분 이상	38분 이상	57분 이상

위험수준	1	2	3	4
평가	보통	약간 높음	높음	매우 높음

그림 1. 작업자세별 노출시간에 따른 위험수준

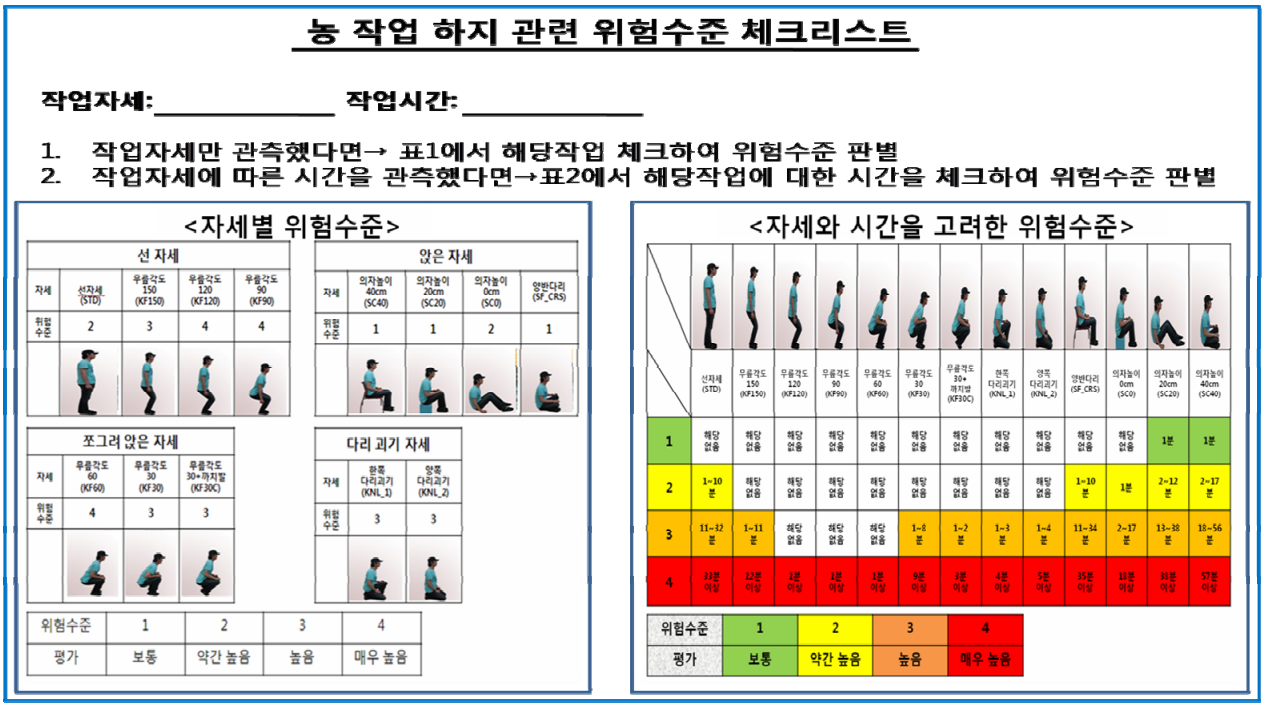


그림 2. 농작업 하지 자세 위험수준 체크리스트

표 9. 기존 인간공학적 평가도구와 본 연구의 인간공학적 하지 평가도구 비교 분석(단, 상지의 자세는 기본 자세라는 가정하에 기본 점수를 부여하고, 하지의 자세로 최종 점수를 계산함)

작업			
하지 자세		무릎 각도 30	한쪽 무릎 괴기
작업시간		10분	10분
REBA		하지 점수: 3점 REBA Score: 3 Action level: 1	하지 점수: 4점 REBA Score: 4 Action level: 2
OWAS		하지 점수: 2 AC:2(관망의 작업)	하지 점수: 2 AC:2(관망의 작업)
PATH		유지 자세에 대한 위험수준 판단 불가능	유지 자세에 대한 위험수준 판단 불가능
Keyserling		유지 자세에 대한 위험수준 판단 불가능	유지 자세에 대한 위험수준 판단 불가능
본 연구의 평가도구	자세별 점수	3점– 위험수준 높음	3점– 위험수준 높음
	시간별 점수	4점– 위험수준 매우 높음	4점– 위험수준 매우 높음

준>에서 해당 작업자세와 작업시간(노출시간)을 함께 고려한 위험수준을 평가할 수 있도록 하였다.

3.2 개발된 하지 인간공학적 평가도구의 비교 분석

본 연구를 통해 개발된 하지 자세에 대한 인간공학적 평가도구를 몇 몇 작업자세의 하지 자세에 대해 평가하고, 기존의 하지 평가가 가능한 체크리스트를 사용해 평가한 후 비교 분석하였다(표 9).

표 9의 첫 번째 사진과 같이 실제 농작업에서 KF30의 자세로 10분간 작업자세를 비교 분석하였을 경우, REBA와 OWAS의 경우 하지 점수는 각 3점, 2점으로 평가되어 REBA는 Action level이 1이 되어 위험수준이 낮은 것으로 나타났으며, OWAS는 Action level이 2로 관망의 작업으로 구별되었다. 그러나 PATH와 Keyserling 연구의 평가도구를 통해서는 그 작업 유지되는 동안 하지의 자세 비율을 파악함으로 인해 부적절한 자세가 차지하는 비율을 판단하므로, 작업자세의 위험수준을 판단할 수 없었다. 반면, 본 연구를 통해 개발된 평가도구로 작업자세를 평가할 경우 자세만을 고려하여 평가했을 경우 위험수준이 3으로써 위험수준이 높은 편으로 평가되었으며, 자세에 시간을 부여하여 함께 고려해서 평가했을 경우에는 위험수준이 4로써 위험수준이 매우 높은 편으로 평가되었다. 이와 같이 차이가 나는 타

평가도구는 하지보다는 상지에 중심을 두었기 때문이라 볼 수 있다.

한쪽 다리 괴기를 한 자세의 경우에는 OWAS는 하지 자세 점수가 2점이며, OWAS Action level이 2로써 위험수준이 낮게 평가되었지만, REBA는 자세의 평가에 있어 자세를 4가지 기준으로만 하고 있기에 다양한 자세를 평가하는데 있어 어려움이 따르며, 하지 자세의 점수가 4점으로 평가되었지만, Action level이 2로 전체 위험수준이 여전히 낮게 평가 되었으며. 하지만, 본 연구의 체크리스는 3점으로써 위험수준이 높은 것으로 나타났을 뿐만 아니라, 시간을 고려함으로써 작업자세를 오랜 시간 동안 유지하게 될 경우는 위험수준이 매우 높아지는 것을 알 수 있다.

4. 토 론

농작업은 다양한 형태의 근골격계 질환 위험요인을 포함하고 있으며 특히, 쪼그려 앉기, 무릎 꿇기 등 하지부담자세를 다수 포함하고 있다. 일반적으로 작업환경 또는 작업 방법의 차이는 작업자의 질환발생에 차별적으로 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.

즉, 제조업체 근로자들에서 가장 흔한 근골격계 질환은 요통이나 요추의 추간판탈출증을 포함한 허리 부위의 문제인데 원인은 작업수행시 중량물 취급이 많고 허리부담이 많은 작업들이 제조업체에서 많이 수행되기 때문이다. 농업인의 경우에는 허리 부위가 가장 흔한 근골격계 질환의 하나를 차지한다는 점은 제조업체 근로자에서 나타나는 결과와 동일하지만 하지 부위, 특히 무릎 부위의 근골격계 질환이 상대적으로 많아 이에 대한 원인으로 농작업의 하지부담 작업 문제가 대두되고 있다.

문제 해결을 위해 보다 구체적으로 하지 자세를 평가하기 위해 실험을 통해 나타난 결과를 기반으로 새로운 하지 자세 평가도구를 개발하고, 개발된 평가도구를 기존의 평가도구와 비교, 분석하였다.

먼저, 실험 결과는 주관적 불편도에서 전신에 대한 불편도는 무릎 각도가 작아질수록 불편도가 높게 나타났으며, 대체로 앉은 자세에서는 낮은 불편도를 나타내었다. 국소 부위에 대한 불편도를 살펴보면, 허리는 무릎 각도가 작을 때와 앉은 높이 0cm일 때 높은 불편도를 보였으나 Borg's 10 point에서 3으로 적당한(moderate) 수준으로 나타났다. 허벅지에서도 무릎 각도가 작을 때 큰 불편도를 나타냈으며, 종아리 역시 무릎 각도가 작을 때 큰 불편도를 나타내었다. 심박수 분석에서도 불편도와 마찬가지로 무릎 각도가 작을 때 큰 심박수를 나타내었다. 각 자세별 근육의 MDF 값에 대한 분석으로는 무릎 각도가 작을 때 낮았으며, 시간에 따른 피로도 경향 또한 다른 자세보다 두드러짐을 볼 수 있었다. 따라서, 본 실험을 통해 주관적 평가와 객관적 평가 결과가 유사한 경향을 보임을 알 수 있었다.

인간공학적 평가도구 개발에서 작업자세에 대한 위험수준을 결정하기 위해 불편도, 심박수, 그리고 근전도 결과를 기반으로 자세별 점수를 정하였다. 또한 자세별 점수에 따라 위험수준을 1(보통)에서 4(매우 높음)로 구분하였다. 뿐만 아니라, 시간에 따른 위험수준을 결정하기 위해 3분마다 측정된 불편도 결과로 회귀식을 구하였다. 회귀식을 통해 시간별 불편도를 추정하여 위험수준을 재분류 하였다. 이 과정을 통해 개발된 평가도구는 자세만으로도 평가를 할 수 있을 뿐만 아니라, 작업자세 지속시간에 따른 평가도 할 수 있게 되었다. 따라서, 본 연구의 평가도구는 자세에 대한 시간을 고려함으로 인해 기존 평가도구들의 한계점을 극복할 수 있게 되었다.

작업관련성 근골격계 질환(WMSDs)의 1차 예방적 목적을 위해 흔히 작업환경이나 작업 방법에 대한 인간공학적 평가도구들을 많이 활용하고 있으나, 기존에 널리 사용되고 있는 평가도구들은 대부분 제조업체 대상으로 개발되어 농작업 평가에 제한점이 많고 우리나라 농작업에서 많이 관찰되고 있는 하지부담자세의 위험도를 과소 평가하는 경향을 보여주고, 하지 자세에 대한 간략화로 인하여 위험수준을 인지하는데 있어 한계점이 발생한다. 개발된 인간공학적 평가도구를 통해 기존의 평가도구와 비교 분석한 결과, 본 연구를 통해 개발된 평가도구에서는 보다 세밀한 하지 작업자세를 평가할 수 있었으며 위험수준 역시 타 평가도구보다 높게 인지하였지만 상지의 작업자세를 포함한 농작업 전반의 작업자세를 평가하기에는 부족한 점이 있으므로 상지 부분에 대한 평가를 위해서는 기존의 평가도구(REBA 등)들과 병행하여 사용한다면 한계점을 극복할 수 있을 것이다.

다만, 작업자의 대부분이 노령자인 농작업 연구에 연구대상이 젊은 대학생으로 구성이 되어 있어 연령에 의한 신체적 차이가 발생할 수도 있는 한계점을 가지고 있지만, 본 연구 결과는 우리나라 농작업에서 많이 관찰되고 있는 하지부담자세 – 쪼그려 앉기, 무릎꿇기, 바닥에 앉기 등 – 의 WMSDs 위험도를 간편하고 객관적으로 평가할 수 있는 인간공학적 평가도구를 개발, 농작업 현장에 공급함으로써 농작업 수행으로 인한 WMSDs 발생 위험도를 간편하고 객관적으로 평가 가능토록 하여 질환의 예방과 관리 및 작업환경개선 효과를 손쉽게 평가할 수 있게 하는 평가도구로 활용될 수 있을 것이다.

참고 문헌

공용구, 김대민, 이수진, 이재훈, 이용호, 이경수, 손성태, 하지 자세가 근전도, 심박수 그리고 불편도에 미치는 영향분석, *대한인간공학회지*, 28(1), 9-19, 2009.

김유창, 류영수, 쪼그려 앉은 작업에서 신체부담작업의 평가, *대한인간공학회지*, 24(1), 37-41, 2005.

농촌진흥청, 농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교 분석, 농업인건강안전정보센터, 2004.

농촌진흥청, 농림어업인의 주요 상병 및 건강행태 비교 분석, 농업인건강안전정보센터, 2008.

이인석, 정민근, 쪼그려 앉은 작업자세에서의 작업부하 평가, *대한인간공학회 학술대회논문집*, 제1권, 90-94, 1997.

이인석, 정민근, 기도형, 심물리학적 방법을 이용한 다양한 하지 자세의 부하 평가, *대한인간공학회지*, 21(4), 47-65, 2002.

현수돈, 김정룡, High Heel이 허리 근육피로에 미치는 영향에 관한 연구, *대한인간공학회지*, 16(3), 37-48, 1997.

Aarås, A., Westgaard, R. and Stranden, E., Postural angles as an indicator of postural load and muscular injury in occupational work situations, *Ergonomics*, 31, 915-933, 1988.

Armstrong, T., Buckle, P., Fine, L., Harberg, M., Jonsson, B., Kilbom, A., Kuorinka, I., Silverstein, B., Sjogaard, G. and Viikari-Juntura, E., A conceptual model for work-related neck and upper-limb musculoskeletal disorders. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 19, 73-74, 1993.

Borg, G., Borg's Perceived exertion and pain scales, *Human Kinetics*, 1998.

Buchholz, B., Paquet, V., Punnett, L., Lee, D. and Moir, S., PATH: a work sampling-based approach to ergonomic job analysis for construction and other non-repetitive work, *Applied Ergonomics*, 27(3), 177-187, 1996.

Corlett, E., Wilson, J. and Manenica, I., The ergonomics of working postures: Models, methods and cases, London: Taylor & Francis, 1986.

Forde, M. S., Punnett, L. and Wegman, D. H., Pathomechanisms of work-related musculoskeletal disorders: conceptual issues, *Ergonomics*, 45(9), 619-630, 2002.

Grandjean, E. and Hunting, W., Ergonomics of postures- review of various problems of standing and sitting postures. *Applied Ergonomics*, 8(3), 135-140, 1977.

Hignett, S. and McAtamney, L., Rapid Entire Body Assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, 31, 201-205, 2000.

Karhu, O., Kansi, P. and Kuorinka, I., Correcting working postures in industry: a practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), 199-201, 1977.

Keyserling, W. M., Brouwer, M. and Silverstein, B. A., A checklist for evaluating ergonomic risk factors resulting from awkward postures of the legs, trunk and neck. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 9, 283-301, 1992.

Lee, S., http://www.arthritiscenter.co.kr/, Unpublished Clinical Report, 2004.

McAtamney, L. and Corlett, E., RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, 24(2), 91-99, 1993.

Minning, S., Eliot, C., Uhi, T. and Malone, T., EMG analysis of shoulder muscle fatigue during resisted isometric shoulder elevation, *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17, 153-159, 2007.

van Wely, P., Design and disease. *Applied Ergonomics*, 1, 262-269, 1970.

저자 소개

공 용 구 ykong@skku.edu
펜실베니아 주립대학교 인간공학 박사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 교수
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석

한 준 구 babby2002@skku.edu
남서울대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 석사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석

김 대 민 kimdaemin@skku.edu
성균관대학교 산업공학과 석사
현 재: 성균관대학교 산업공학과 박사과정
관심분야: 인간공학적 제품 디자인 및 평가, 근골격계질환 예방 및 분석

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 08월 09일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 11월 19일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 11월 19일