

최대 지속 시간에 근거한 관찰적 자세 평가 기법의 평가

문찬영¹ · 나석희^{2*} · 기도형³ · 정민근²

¹LG전자 단말연구소 / ²포항공과대학교 기계산업공학부 / ³계명대학교 산업시스템공학과

Comparison of Observational Posture Evaluation Methods based on Maximum Holding Times

Chanyoung Moon¹ · Seokhee Na² · Dohyung Kee³ · Min K. Chung²

¹Mobile handset R&D center, LG Electronics, Seoul, 153-801

²Division of Mechanical and Industrial Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

³Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University, Deague, 704-701

This study aims to measure maximum holding times(MHTs) of symmetric and asymmetric whole body postures, and to compare three representative observational methods including OWAS, RULA, REBA, based on the MHTs. An experiment was conducted for obtaining the MHTs, in which hand position was used as experimental variable, and the MHT and subjective discomfort rating as dependent variables. The hand position was defined by the percentage of the shoulder height(%SH), the percentage of the arm reach(%AR) and rotation angle(R). The results showed that three independent variables of %SH, %AR and R significantly affected on the MHTs at $\alpha=0.01$, and that the MHTs were negatively linearly related to the discomfort scores of Borg CR10. It was also revealed that OWAS and REBA were less sensitive to postural stress than RULA. In addition, OWAS and REBA underestimated postural load of given postures compared to RULA. Therefore, it is recommended that among the three observational methods investigated in this study, RULA be used for a more precise evaluation of postural load.

Keywords: maximum holding time, observational posture evaluation method, musculoskeletal disorder

1. 서론

산업의 자동화로 인해 육체적으로 과도한 작업은 많이 줄었으나, 이로 인한 근골격계 질환(musculoskeletal disorders)은 산업 재해에서 큰 비중을 차지하고 있다. 우리나라의 경우 2003년 근골격계 질환이 4,532건이 발생하여 전년 대비 약 148% 증가하였으며, 전체 직업병의 약 50%를 차지하였다(Ministry of Labor, 2004). 이에 따라 노동부는 근골격계 질환을 예방하기 위하여 '산업보건기준에 관한 규칙'을 개정·시행하여, 매 3년마다 근골격계 부담 작업에 대하여 유해 요인 조사를 실시하는 사업주의 의무를 법제화하고 있다.

부적절한 작업 자세는 근골격계 질환의 주요 원인으로 지적

되고 있다(Grandjean and Hunting, 1977). 부적절한 자세를 평가하기 위한 방법으로 관찰적 작업 자세 평가 기법(observational posture evaluation method)이 많이 사용되고 있다. 관찰적 작업 자세 평가 기법은 사용이 간단하면서 비용이 저렴하고, 작업 자세 부하에 대해 신뢰할 수 있는 정보를 얻을 수 있다는 장점이 있다(Genaidy *et al.*, 1994).

지금까지 개발된 관찰적 작업 자세 평가 기법으로 OWAS(Karhu *et al.*, 1977), TRAC(van der Beek *et al.*, 1992), PATH(Buchholz *et al.*, 1996), RULA(McAtammney and Corelett, 1996), REBA(Hignett and McAtammney, 2000), LUBA(Kee and Karwowski, 2001), PLAS(Chung *et al.*, 2002) 등이 있으며, 국내에서는 OWAS, RULA, REBA가 가장 많이 사용되고 있는 실정

* 연락저자 : 나석희, 790-784 경상북도 포항시 남구 효자동 산31번지 포항공과대학교 기계산업공학부, Fax : 054-279-2780,

E-mail : na@postech.ac.kr

2004년 9월 접수; 2005년 7월 수정본 접수; 2005년 9월 게재 확정.

이다. 따라서 본 연구에서는 OWAS, RULA, REBA의 세 가지를 선택하여 평가한다.

이들 기법들은 개발배경이 달라 적용 작업 평가 정확도 등에서 차이를 보일 수 있다(Kee, 2000). 그러나 산업 현장에서는 이들에 대한 정보나 이해 없이 사용되고 있어, 이에 대한 검증이 필요하다.

자세 불편도(discomfort)는 자세 부하로 인한 근골격계 질환의 위험성을 직접적으로 나타내지는 못하지만, 작업 자세로 인한 인체역학적 부하로 인하여 나타나기 때문에 자세 불편도를 최소화하면 근골격계 질환의 위험을 줄일 수 있다고 알려져 있다(Nag, 1991; Putz-Anderson *et al.*, 1993). Dul *et al.*(1994)은 자세 불편도를 자세 부하를 평가하는 기준으로 고려할 수 있으나, 객관적인 실험 데이터를 구하기 어려우므로 그 대안으로 최대 지속시간(Maximum Holding Time; MHT)을 사용할 수 있다고 하였다.

자세 지속시간과 주관적 불편도의 관계에 관한 연구들에서는 자세 지속시간이 증가함에 따라 주관적 자세 불편도 값이 선형적으로 증가함을 밝혔다(Manenica, 1986; Taksic, 1986; Dul *et al.*, 1994). Taksic(1986)은 어깨 높이 백분율과 팔 길이 백분율을 기준으로 선정된 7개 최대 지속시간 결과와 매 30초마다 20점 scale(Borg PRE, Borg, 1993)로 측정된 자세 불편도와의 상관 분석을 통하여 관련성이 높음을 보였다.

Manenica(1986)는 동일한 7개 자세에 대해 최대 지속시간과 전신의 주관적 불편도를 측정하여, 최대 지속시간의 25%, 50%, 75%, 100% 시점과 해당 시점의 자세 불편도를 이용한 회귀분석을 실시하여 선형성이 높음을 발견하였다. 이를 바탕으로 Miedema *et al.*(1997)은 최대 지속시간을 통해 불편도를 나타내는 객관적인 실험 데이터로 사용할 수 있다고 하였다.

현재까지의 최대 지속시간에 관한 연구는 어깨 높이 백분율, 팔 길이 백분율을 기준으로 하여 시상면의 대칭적 자세로 국한되어 있다. 그러나 실제 작업장에서 일어나는 자세는 작업지점이 다양하므로 대칭 자세뿐만 아니라 비대칭 자세도 빈번히 나타나고 있으므로, 비대칭 자세를 포함한 최대 지속시간에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 기존의 최대 지속시간 연구에서 고려되지 않았던 비대칭 자세를 포함한 자세에 대해 최대 지속시간을 측정하고, 이를 바탕으로 대표적인 관찰적 기법(OWAS, RULA, REBA)들을 평가하고 각 기법의 특성을 파악하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

본 연구에서는 20대 남자 대학원생 8명이 실험에 참여하였다. 피실험자 모두 근골격계 질환에 대한 과거 병력이 없으며,

평균 신장은 173.1(±6.17)cm, 평균 체중은 73.7(±7.64)kg, 어깨 너비는 39.8(±1.57)cm, 어깨 높이는 143.5(±6.45)cm, 앞으로 뻗은 손끝 길이는 74.3cm(±2.49), 평균 연령은 26.1(±1.37)세였다.

2.2 독립 변수

독립 변수는 손끝 수직 높이, 손끝 수평 거리, 오른쪽 회전 각도로 선정하였다. 손끝 수직 높이 수준은 어깨 높이(SH)의 100%, 70%, 40%로 설정하였다. 어깨 높이는 바닥에서 어깨점까지 수직 거리로 측정하였다(KRISS, 1997). 손끝 수평 거리 수준(AR)은 앞으로 뻗은 손끝 길이를 기준으로 100%, 70%, 40%로 설정하였다. 앞으로 뻗은 손끝 길이는 벽면에 등을 대고 오른팔을 앞으로 수평되게 뻗었을 때 벽면에서 손끝까지의 직선 거리로 측정하였다(KRISS, 1997).

회전 각도는 PLAS(Chung *et al.*, 2002)의 회전 자세 분류 체계를 바탕으로 오른쪽으로 0도, 45도로 하여 비대칭 자세를 나타내게 하였다. <Figure 1>은 손끝 수직 높이와 수평 거리에 따른 9개의 손끝 지점을 표시하고 있다. 회전 각도가 45도인 경우는 손끝 높이와 거리는 일정하며 위치만 45도 회전된 자세이다.

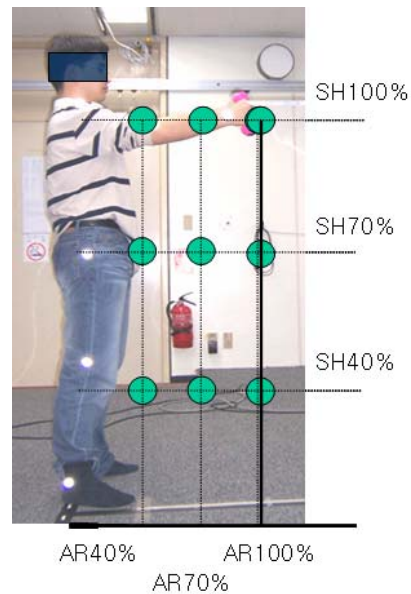


Figure 1. Nine postures by shoulder height and arm reach.

2.3 종속 변수

본 연구에서는 정량적인 자세 불편도를 나타내는 최대 지속시간과 주관적 불편도를 종속 변수로 선정하였다. 최대 지속시간은 해당 실험 조건에 따른 자세를 피실험자가 유지하는 최대 시간으로 측정하였다. 주관적 불편도의 측정은 최대 지속시간과 병행하여 실시하였는데, 각 실험 조건의 자세를 유지하다가 1분이 지났을 때 인지된 불편도를 Borg CR10 scale (Borg, 1993)을 이용하여 평가하였다.

Table 1. Representative postures

ID	%SH	%AR	Rotation(°)	Elbow flexion(°)	Shoulder flexion(°)	Trunk flexion(°)	Trunk twist(°)	Leg flexion(°)
1	100	100	45	0	90	1	23	0
2	100	70	45	85	41	0	16	0
3	100	40	45	113	23	0	12	0
4	100	100	0	0	90	0	0	0
5	100	70	0	77	50	0	0	0
6	100	40	0	118	23	0	0	0
7	70	100	45	13	69	38	27	0
8	70	70	45	51	32	9	18	0
9	70	40	45	56	13	0	10	0
10	70	100	0	4	86	25	0	0
11	70	70	0	26	39	0	0	0
12	70	40	0	77	11	0	0	0
13	40	100	45	58	101	77	39	37
14	40	70	45	62	79	70	23	24
15	40	40	45	97	59	56	19	21
16	40	100	0	60	99	79	0	30
17	40	70	0	71	81	75	0	18
18	40	40	0	75	52	67	0	11

2.4 실험 방법

본 실험에서 사용되는 18가지 실험 조건은 모두 손끝 위치로 정의된다. 따라서 피실험자마다 개인적인 특성으로 인해 자세가 다양하게 나타날 수 있으며, 이로 인해 실험 결과의 편차가 크게 나타날 수 있다. 이러한 편차를 줄이기 위하여 대표 자세를 선정하기 위한 예비 실험을 실시하였다.

예비 실험은 본 실험에 참여할 모든 피실험자를 대상으로 실시하였다. 예비 실험에서 피실험자는 각 실험 조건에 따라 정해진 위치에 손끝을 위치시키고, 선호하는 자세를 취하도록 하였다. 손가락과 손목은 곧게 편 상태로 하였고, 양손을 실험 조건에 따른 손끝 위치에 있는 마커(marker)를 가리게 하였다. 각 실험 조건마다 피실험자가 자세를 취하면, 팔꿈치 굴곡(elbow flexion)각도, 어깨 굴곡(shoulder flexion)각도, 몸통 굴곡 및 회전(trunk flexion and twist)각도, 다리 굴곡(leg flexion)각도를 측정하였다. 예비 실험 결과 각 각도의 편차는 최소 0도에서 최고 9도로 나타났다. 편차가 크지 않으므로 각 자세의 평균값을 대표자세로 선정하고, 본 실험에서는 피실험자가 대표 자세와 최대한 같은 자세를 취하도록 하였다. <Table 1>은 선정된 대표 자세의 팔꿈치 굴곡, 어깨 굴곡, 몸통 굴곡 및 회전, 다리 굴곡각도를 나타낸다.

본 실험에서는 앞에서 언급한 18가지의 실험 자세에 대하여 최대 지속시간과 전신에 대한 주관적 불편도를 측정하였다. 대표 자세가 여러 관절이 조합되어 나타나는 복합 자세이므로, 몸통 회전-몸통 굴곡-다리 굴곡-어깨 굴곡-팔꿈치 굴곡 순으로 자세를 취하게 하였다. 피실험자가 해당 실험 조건의 자

세를 버틸 수 없거나 마커를 가린 손이 떨어져 마커가 확연하게 보일 때 등 자세가 크게 변하였을 때까지 시간을 측정하여 최대 지속시간을 결정하였다. 총 18가지의 실험조건을 하루에 3자세씩 총 6일 간 실험하였으며, 한 자세에 대한 실험을 하고 나면 최소 15분 이상 피실험자가 원하는 만큼의 휴식시간을 갖게 하였다. 실험시간은 피실험자 각각 총 8시간 가량이 소요되었다.

3. 결 과

3.1 최대 지속시간

최대 지속시간에 미치는 독립 변수의 영향을 알아보기 위해 분산 분석을 실시하였다(<Table 2>). 분산분석 결과 손끝 수직 높이, 손끝 수평 거리, 회전각도 등의 주요인(main effect)이 통계적으로 유의하게 나타났다($p < 0.01$). 또한, 손끝 수직 높이와 수평 거리, 손끝 수직 높이와 회전각도, 손끝 수평 거리와 회전각도 사이의 교호 작용도 통계적으로 유의함을 보였다($p < 0.05$).

<Figure 2>는 손끝 수직 높이와 몸통 회전각도 간의 교호 작용을 나타내고 있다. 전반적으로 회전이 있을 경우 최대 지속시간은 감소하였다. 회전각도가 0도인 경우 SH70% > SH100% > SH40% 순으로 자세를 오래 유지한 데 반해, 몸통각도가 45도인 경우는 SH100% > SH70% > SH40% 순으로 최대 지속시간이 길게 나타났다. 특히 SH40%의 경우 최대 지속시간이 다른 경우에 비해 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

Table 2. ANOVA results

Source	df	SS	MS	F-Value	P-Value
%SH(Shoulder Height)	2	3570481.847	1785240.924	72.13	<.0001*
% AR(Arm Reach)	2	7996866.514	3998433.257	61.18	<.0001*
R(Rotation)	1	697085.840	697085.840	34.42	0.0006*
% SH × % AR	4	1953150.07	488287.520	31.77	<.0001*
% SH × R	2	151140.514	75570.257	9.35	0.0026*
% AR × R	2	134640.514	67320.257	5.36	0.0187*
% SH × % AR × R	4	110265.069	27566.267	1.89	0.1393
Sub(Subject)	7	730151.271	104307.324	-	-
% SH × Sub	14	346498.042	24749.860	-	-
% AR × Sub	14	914986.042	65356.146	-	-
R × Sub	7	141786.771	20255.253	-	-
% SH × % AR × Sub	28	430366.708	15370.240	-	-
% SH × R × Sub	14	113147.708	8083.908	-	-
% AR × R × Sub	14	175855.375	12561.098	-	-
% SH × % AR × R × Sub	28	407449.708	14551.775	-	-
Total	143	17873898.99	124992.30		

*: $p < 0.05$

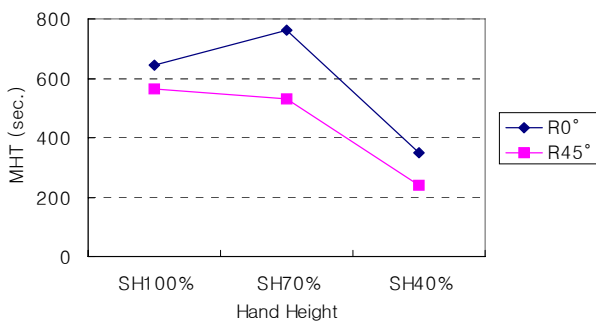


Figure 2. Interaction effect of hand height and rotation angle.

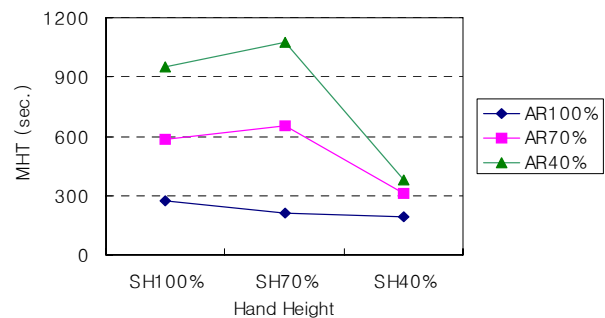


Figure 3. Interaction effect of hand heights and arm reach.

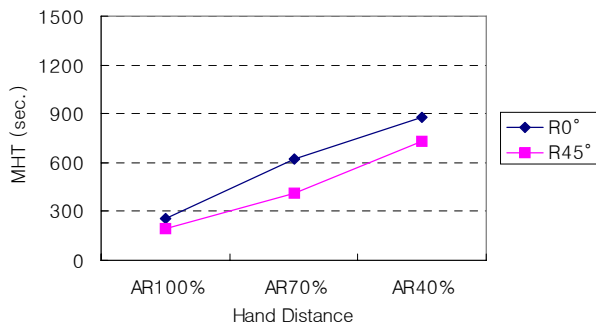


Figure 4. Interaction effect of hand distance and rotation.

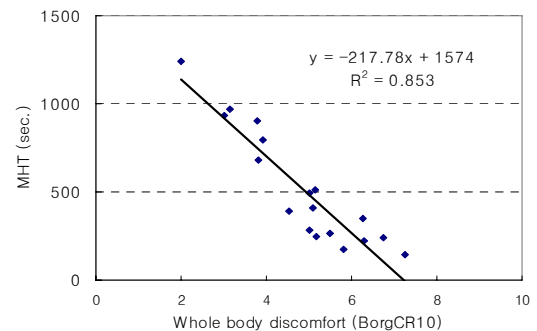


Figure 5. Relationship between whole body discomfort and MHT.

<Figure 3>은 손끝 수직 높기와 손끝 수평 거리의 교호 작용을 나타내고 있다. 전체적으로 손끝 수평 거리가 증가할수록 최대 지속시간이 감소하였다. 또한 손끝 수직 높이가 어깨 높이의 40%인 경우 손끝 수평 거리와 상관없이 자세 지속시간이 짧게 측정되었다. 그리고, 손끝 수평 거리(AR)가 앞으로 뺀

손끝 길이의 100%인 경우 손끝 수직 높이에 따른 최대 지속시간에 차이가 나타나지 않아, 교호 작용이 통계적으로 유의하게 나타난 것으로 추정된다($\alpha=0.05$).

<Figure 4>는 손끝 수평 거리와 회전각도 간의 교호 작용을 나타내고 있다. 손끝 수평 거리가 앞으로 뺀 손끝 길이(AR)

의 100%인 경우 다른 수준들에 비해 회전각도와 상관없이 비슷한 시간 동안 자세를 유지하여 교호 작용이 통계적으로 유의하게 나타났다($\alpha=0.05$).

3.2 최대 지속시간과 주관적 불편도의 관계

최대 지속시간과 전신의 주관적 불편도의 관계는 주관적 불편도가 증가할수록 최대 지속시간이 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다(Figure 5). 회귀분석 결과 R^2 값이 0.85로 나타나 전신의 주관적 불편도와 최대 지속시간이 관계가 높다고 할 수 있다.

3.3 최대 지속시간과 자세 평가 기법 비교

18개 실험 자세에 대하여 대표적인 관찰적 자세 평가 기법인 OWAS, RULA, REBA를 이용하여 평가하고 이를 최대 지속시간과 비교하였다. Table 3>은 18개의 실험 자세에 대한 OWAS, RULA, REBA의 평가 점수와 최대 지속시간의 평균을 나타낸다.

Figure 6>은 OWAS 결과에 따른 최대 지속시간의 분포를 나타내고 있다. 각 자세에 대한 OWAS 분류 수준(category)이 증가함에 따라 최대 지속시간이 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 수준 1로 평가된 자세들의 경우 최대 지속시간이 넓게 분포하고 있다. 수준 3 또는 4로 평가된 자세 중 최대 지속시간이 수준 2로 평가된 것보다 길게 측정된 경우가 존재하는 등

최대 지속시간과 OWAS 결과가 상이한 경우가 많이 나타났다.

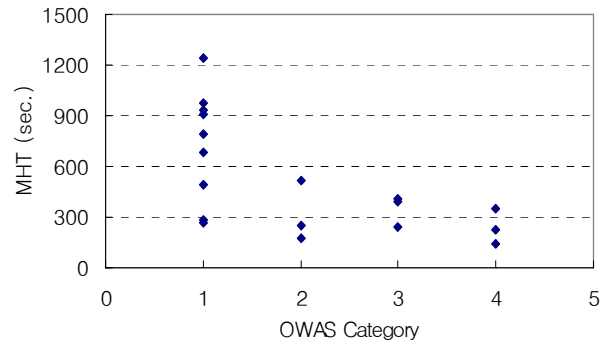


Figure 6. OWAS categories and MHTs.

Figure 7>은 RULA 점수에 따른 해당 자세의 최대 지속시간을 나타내고 있다. RULA 점수가 증가함에 따라 최대 지속시간이 감소하는 것을 알 수 있었으며, 자세 부하 평가 결과 RULA의 1~7 사이의 점수가 고르게 분포하였다. 그러나 3점으로 평가된 자세들의 경우 최대 지속시간이 넓게 분포되어 있으며, 점수가 4로 평가되었지만 6보다 최대 지속시간이 짧게 나온 경우 등 최대 지속시간 결과와 상이한 경우도 관찰되었다.

Figure 8>은 REBA 점수에 따른 해당 자세의 최대 지속시간을 나타내고 있다. 전반적으로 각 자세에 대한 REBA 점수가 증가함에 따라 최대 지속시간이 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 REBA가 15점까지 자세 부하를 평가하는 데 비해

Table 3. Evaluation results of representative postures

ID	%SH	%AR	Rotation(°)	OWAS category	RULA score	REBA score	MHT(sec.)
1	100	100	45	3	6	4	412
2	100	70	45	4	6	7	350
3	100	40	45	3	6	4	391
4	100	100	0	4	6	5	224
5	100	70	0	3	7	7	240
6	100	40	0	4	7	9	142
7	70	100	45	1	2	2	1240
8	70	70	45	1	3	3	906
9	70	40	45	1	3	2	765
10	70	100	0	2	4	3	515
11	70	70	0	2	4	4	248
12	70	40	0	2	6	4	174
13	40	100	45	1	3	2	973
14	40	70	45	1	3	3	935
15	40	40	45	1	3	2	681
16	40	100	0	1	3	2	494
17	40	70	0	1	4	4	280
18	40	40	0	1	4	5	267

대부분의 자세가 4점 이하에 집중되어 있음을 보였다. 점수가 2인 경우 자세들의 최대 지속시간이 다양하게 분포하였으며, 점수가 3인 경우 최대 지속시간이 900초대와 500초대의 2분류로 나누어졌다. REBA 점수가 4 이상에서는 최대 지속시간의 차이가 크지 않았다.

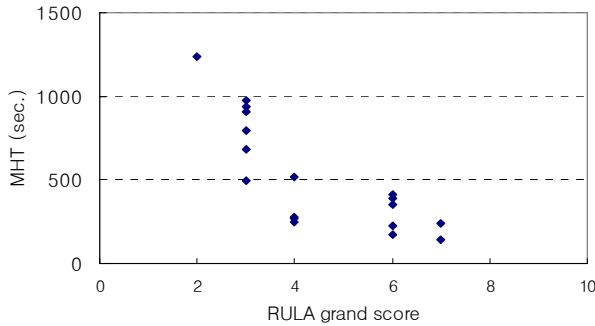


Figure 7. RULA scores and MHTs.

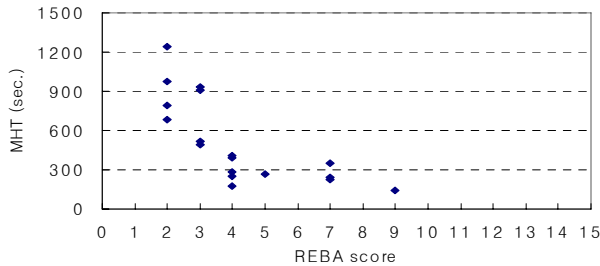


Figure 8. REBA scores and MHTs.

4. 토 의

4.1 최대 지속시간

손끝 높이가 허리 높이보다 낮은 경우(SH 40%)에는 최대 지속시간이 짧게 나타났다. SH40%인 자세들의 경우 몸통 굴곡 각도가 56~ 79도로 나타났으며, 이는 RULA, REBA의 몸통 자세 분류 체계의 경우 4점으로 최고 부하 단계에 해당한다. 즉, SH40% 경우 손끝 지점의 위치가 낮아 몸통에 과도한 굴곡을 유발하고 이로 인해 불편도가 증가하여, 피실험자들이 자세를 오래 유지하기 어려웠을 것이라 판단된다.

손끝 수평 거리의 경우에는 손이 몸에서 멀어지면서 어깨 관절 및 팔꿈치 각도의 모멘트가 증가하여 최대 지속시간이 감소한 것으로 판단된다. 실제로 손끝 수평 거리 수준에 따른 해당 자세들의 평균 팔꿈치 굴곡각도를 보면, AR40%의 경우 78도, AR70%의 경우 62도, AR100%의 경우 21도로 나타났다. 즉, 손끝 수평 거리가 몸에서 멀어질수록 팔꿈치가 펴지고 이로 인해 팔꿈치의 모멘트가 증가한다. 또한 손끝 수평 거리 수준에 따른 해당 자세들의 평균 어깨 굴곡각도를 구해 보면, AR40%의 경우 31도, AR70%의 경우 55도, AR100%의 경우 91

도로 나타났다. 손끝 지점이 몸에서 멀어질수록 어깨 굴곡각도가 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서, 어깨 굴곡각도가 증가함에 따라 어깨 관절의 모멘트가 증가하여 최대 지속시간이 짧아졌다고 판단된다.

회전각도가 45도인 경우 0도일 때보다 최대 지속시간이 짧게 나타났다. 이는 몸통이 회전된 경우 불편도가 증가하고 이로 인해 자세를 유지하는 데 어려움이 나타난 결과라 생각된다. 이는 RULA, REBA의 경우 몸통 회전이 있을 때 몸통 자세 부하에 1점을 추가한다는 점에서 본 연구의 실험 결과와 일치한다고 할 수 있다.

손끝 수직 높이와 회전각도 간의 교호 작용은 손끝 수직 높이의 다른 수준들에 비해 SH70%인 경우 회전 여부에 따라 최대 지속시간에 차이가 크게 나타났다(<Figure 2>). SH100%의 경우는 허리 굴곡이 거의 없으므로 몸통 회전의 영향만의 차이이며, SH40%의 경우는 허리 굴곡의 영향이 커서 회전의 영향이 적게 나타난 것이다. 그에 비해 SH70%의 경우는 허리 굴곡이 크지 않은 상태에 있어 몸통 회전의 영향이 가장 크게 나타난 것으로 파악된다.

손끝 수직 높이와 수평 거리의 교호 작용은 손끝 수직 높이가 SH40%인 경우, 손끝 수평 거리 수준에 따른 최대 지속시간의 차이가 SH70%, SH100%와 달리 크게 나타나지 않았다 (<Figure 3>). 또한, 손끝 수평 거리가 AR100%인 경우 최대 지속시간은 손끝 수직 높이 수준에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 손끝 수직 높이가 SH40%인 경우 몸통 굴곡각도가 56도 이상으로 나타나 몸통 굴곡으로 인한 영향이 커, 손끝 수평 거리에 따라 팔꿈치 굴곡각도(5도~ 71도)와 어깨 굴곡각도(52도~110도)가 다양하게 변화하더라도 팔 자세가 최대 지속시간에 미치는 영향이 적게 나타났다고 판단된다. 손끝 수평 거리가 AR100%인 자세들은 평균 어깨 굴곡각도가 91도로 어깨에 대한 불편도가 높아져, 손끝 수직 높이 변화에 대한 영향력이 나타나지 않았다고 판단된다. 따라서, 손끝 수직 높이가 SH40%처럼 허리 높이보다 낮아 몸통 굴곡 각도가 50도가 넘거나 AR100%처럼 손끝이 몸에서 멀리 떨어져 어깨 굴곡 각도가 90도를 넘는 경우에는, 이들 자세에서 오는 불편도가 상당히 높아 다른 신체 부위에서 오는 불편도가 최대 지속시간에 주는 영향은 적어진다고 해석할 수 있다.

손끝 수평 거리와 수직 거리 간의 교호 작용을 분석해 보면 SH40%의 경우 수평 거리의 영향이 미미한 것을 알 수 있다 (<Figure 3>). 이는 SH40%의 경우 몸통 굴곡의 영향이 커 다른 신체 부위의 영향이 적게 나타난 것으로 해석된다.

손끝 수평 거리와 회전각도 간의 교호 작용의 경우, 손끝 수평 거리가 AR100%인 경우 다른 수준들과 달리 회전각도에 따른 영향이 작게 나타났다(<Figure 4>). AR100%는 어깨 굴곡이 90도 이상으로 어깨 굴곡의 영향이 커 몸통 회전의 영향이 작게 나타난 것으로 판단된다. 어깨 굴곡 혹은 몸통 굴곡이 크게 일어난 경우에는 몸통 회전의 영향이 미미하다고 할 수 있다. 따라서, 관찰적 기법의 자세 분류 체계에서 몸통 회전각도에

따른 자세 부하 점수는 어깨 굴곡과 몸통 굴곡에 따라 달리 적용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

최대 지속시간과 전신의 주관적 불편도와와의 관계는 <Figure 5>에 나타난 것과 같이 전신의 주관적 불편도가 증가할수록 최대 지속시간이 선형적으로 감소하였다. 회귀분석 결과 R² 값이 0.85로 최대 지속시간과 전신의 주관적 불편도의 상관성이 높다고 할 수 있다. 이 결과는 최대 지속시간이 객관적이고 정량적인 자세 불편도에 관한 자료로 활용 가능하다는 것을 나타낸다.

4.2 최대 지속시간과 자세 평가 기법 비교

OWAS와 최대 지속시간과의 관계를 나타낸 <Figure 6>을 보면, 최대 지속시간이 짧게 나타났음에도 불구하고 부하 수준이 1로 평가된 경우, 부하 수준은 높게 평가되었으나 최대 지속시간이 길게 측정되는 경우 등 일부 자세에서 최대 지속시간과 상이한 결과를 나타내었다. 부하 수준은 낮게 평가되었으나 최대 지속시간이 짧게 나온 경우에는 어깨 높이(SH) 100% 수준과 앞으로 뺀 손끝 길이(AR) 100% 수준이 결합된 자세들로서, 팔꿈치 굴곡각도가 0도, 어깨 굴곡각도가 90도에 가까운 자세들이다. 이는 OWAS가 거시적 자세 분류 체계로써, 팔의 부하를 ‘양팔 어깨 아래’, ‘한팔 어깨 위’, ‘양팔 어깨 위’ 등, 팔 자세의 형태로 단순하게 구분하기 때문에 나타난 문제라 판단된다. 따라서, 팔꿈치 굴곡과 어깨 굴곡으로 생기는 팔의 부하를 OWAS에서 정확하게 평가하지 못한다고 볼 수 있다. 부하 수준은 높으나 최대 지속시간이 비교적 길게 측정된 경우는 어깨 높이(SH)의 40% 수준과 앞으로 뺀 손끝 길이(AR)의 40% 수준이 복합되어 나타난 자세로, 손끝 수직 높이가 낮아 몸통의 구부림이 50도 이상으로 과도하게 나타나지만 어깨 굴곡 각도는 60도 이하에 해당된다. 전체적으로 OWAS는 팔 자세의 분류가 단순하고 미흡하여, 상대적으로 몸통 자세의 영향이 크게 된다. 그로 인하여 대부분의 자세를 부하 수준 1로 과소평가함으로써 자세 부하를 평가하는 데 있어 민감도가 떨어진다고 할 수 있다.

RULA와 최대 지속시간과의 관계를 나타낸 <Figure 7>을 보면, 전반적으로 RULA 점수가 1~7 사이에 고르게 분포되어 있어 자세 부하를 평가하는 데 민감도가 높다고 볼 수 있다. 그러나 RULA 점수와 최대 지속시간 결과가 일치하지 않는 경우도 나타났다. RULA 점수가 4점인 자세나 6점인 자세의 최대 지속시간의 분포가 비슷하다는 것이다. RULA 점수가 4인 경우는 팔꿈치 굴곡각도가 0도, 어깨 굴곡각도가 90도에 가까운 AR100%인 자세가 많은 부분을 차지한다. RULA 점수가 6인 경우는 몸통 구부림이 56도 이상인 SH40%에 해당되는 자세가 대부분이다. 이는 최대 지속시간은 팔이나 몸통으로 인한 부하가 큰 자세에서는 지속시간이 짧아지는 경향을 보인 반면, RULA의 경우 자세 부하를 평가하는 데 있어 몸통 부하의 영향을 팔 부하의 영향보다 크게 평가하고 있기 때문인 것으로

판단된다.

REBA와 최대 지속시간의 관계를 살펴보면 대부분의 자세가 4점 이하로 낮게 평가된 것을 알 수 있다(<Figure 8>). 이는 REBA가 RULA에 비해 민감도가 떨어지고 과소평가하고 있다고 판단할 수 있다. 상지 자세를 중심으로 개발된 RULA의 단점을 보완하고자 만들어진 REBA는 전신 작업을 평가할 수 있다는 장점을 가진 반면, RULA보다는 그 민감도가 떨어지는 단점을 가지고 있다고 할 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구

본 연구는 대칭/비대칭 자세에 대한 최대 지속시간을 측정하여 정량적이고 객관적인 자세 부하에 관한 자료를 제공하고, 이를 통해 대표적인 관찰법인 OWAS, RULA, REBA의 특징을 파악하기 위한 목적으로 수행되었다.

최대 지속시간 분석 결과 손끝 수직 높이를 표현하는 어깨 높이 백분율, 손끝 수평 거리를 나타내는 앞으로 뺀 손끝 길이 백분율, 회전각도 수준에 따른 최대 지속시간의 차이가 통계적으로 유의하게 나타났다. 또한, 손끝 수직 높이와 수평 거리, 손끝 수직 높이와 회전각도, 손끝 수평 거리와 회전각도 사이의 교호 작용도 통계적으로 유의하게 나타났다. 손끝 수직 높이가 낮은 경우 몸통 굴곡이 크게 나타나고, 손끝 수평 거리에 따라 어깨 굴곡각도가 변하여 최대 지속시간에 영향을 주었다. 특히, 손끝 수직 높이가 어깨 높이의 40%인 경우와 손끝 수평 거리가 앞으로 뺀 손끝 길이의 100%인 경우 다른 신체 부위의 자세에 상관없이 최대 지속시간이 짧게 측정되었다. 회전각도의 경우 회전 유무에 따라 최대 지속시간이 달리 측정되었으나, 어깨 굴곡각도 또는 굴곡각도가 큰 경우에는 회전각도에 대한 영향이 작게 나타났다. 따라서, 회전각도에 대한 불편도의 영향은 어깨 굴곡각도와 몸통 굴곡각도에 따라 달리 적용해야 한다고 판단된다.

18개 실험 조건 자세를 OWAS, RULA, REBA를 이용하여 부하를 평가하고, 이를 최대 지속시간과 비교하였다. 전반적으로 자세 부하 평가 결과가 높을수록 최대 지속시간이 짧게 측정되는 경향으로 미루어 볼 때, 각 관찰적 기법들이 자세 부하를 평가하는 데 타당성이 있다고 할 수 있었다. 그러나 RULA의 경우는 몸통 굴곡각도에 따른 부하가 전체 자세 부하를 측정하는 데 큰 부분을 차지하고 있으며, REBA는 자세 부하를 과소평가하고 민감도가 떨어지는 경향이 있다는 것을 관찰할 수 있었다. OWAS의 경우는 팔 자세에 대한 부하를 정확하게 평가하지 못하고, 몸통 굴곡에 따른 부하가 전신 부하를 평가하는 데 큰 부분을 차지하고 있으며, 최종적인 자세 부하 평가 결과의 민감도도 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서, RULA가 본 연구에서 비교한 관찰적 기법에 비하여 상대적으로 민감도, 부하 평가의 적절성 등의 관점에서 우수하다고 할 수 있다. 본 연구의 실험에 사용된 자세는 손에 하중 혹은 외부 부하

를 주지 않았다. 그러나 실제 작업장에서는 공구나 부품 등을 손에 쥐고 작업하는 경우가 많이 나타난다. 또한, OWAS, RULA, REBA의 관찰적 기법에서도 취급 하중에 따라 자세 부하를 달리 평가하므로, 취급 하중이 여러 수준으로 달라질 때의 최대 지속시간에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

- Borg, G. (1993), Borg's perceived exertion and pain scales, Human Kinetics, Champaign(IL).
- Buchholz, B., Paquet, V., Punnett, L., Lee, D. and Moir, S. (1996), PATH: A work sampling-based approach to ergonomics job analysis for construction and other non-repetitive work, *Applied Ergonomics*, **27**(3), 177-187.
- Chaffin, D. B., Andersson, G. B. J. and Bernard, B. (1999), Occupational Biomechanics(3rd ed.), John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Chung, M. K., Lee, I.S., Kee, D. H. and Kim, S. H. (2002), A postural workload evaluation system based on a macro-postural classification, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, **12**(3), 267-277.
- Corlett, E. N. and Manenica, I. (1980), The effect and measurement of working postures, *Applied Ergonomics*, **11**(1), 7-16.
- Dul, J., Douwes, M. and Smitt, P. (1994), Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures on endurance data, *Ergonomics*, **37**(5), 807-815.
- Genaidy, A. M., Al-shedi, A. A. and Karwowski, W. (1994), Postural stress analysis in industry, *Applied Ergonomics*, **25**(2), 77-87.
- Grandjean, E. and Hnting, W. (1977), Ergonomics of postures - review of various problems of standing and sitting postures, *Applied Ergonomics*, **8**(3), 135-140.
- Hignett, S. and McAtamney, L. (2000), Rapid Entire Body Assessment(REBA), *Applied Ergonomics*, **31**(2), 201-205.
- Juul-Kristensen, B., Fallentin, N. and Ekdahl, C. (1997), Criteria for classification of posture in repetitive work by observation methods: A review, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **19**(5), 397-411.
- Karhu, O., Kansu, P. and Kuorinka, I. (1977), Correcting working postures in industry: A practical method for analysis, *Applied Ergonomics*, **8**(4), 199-201.
- Kee, D. (2000), Review of postural classification schemes for evaluating postural load-focused on the observational methods, *Journal of the Korean Institute of Industrial Safety*, **15**(4), 139-149.
- Kee, D. and Karwowski, W. (2001), LUBA: an assessment technique for postural loading on the upper body based on joint motion discomfort and maximum holding time, *Applied Ergonomics*, **32**(4), 357-366.
- Korea Research Institute of Standards and Science(KRISS), National Anthropometric Survey of Korea 1997, Report No. KRIS-97-114-IR.
- Kroemer, K. H. E., Kroemer, H. and Kroemer-Elbert, K. (1994), Ergonomics: How to design for easy & efficiency, *Applied Ergonomics*, **20**(4), 274-280.
- Manenica, I. (1986), The Ergonomics of working postures: A technique for postural load assessment, in Corlett, E. N., Wilson, J. and Manenica, I. (Eds), The ergonomics of working posture, Taylor & Francis, London, 207-277.
- McAtamney, L. and Corlett, E. N. (1993), RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders, *Applied Ergonomics*, **24**(2), 91-99.
- Miedema, M. C., Douwes, M. and Dul, J. (1997), Recommended maximum holding times for prevention of discomfort of static standing postures, *International Journal of Industrial Ergonomics*, **19**(1), 9-18.
- Ministry of Labor (2004), Analysis of industrial accident 2002, from <http://www.molab.go.kr>.
- Nag, P. K. (1991), Endurance limits in different modes of load holding, *Applied Ergonomics*, **22**(3), 185-188.
- Putz-Anderson, V. and Galinsky, T. L. (1993), Psychophysically determined work durations for limiting shoulder girdle fatigue from elevated manual work, *International Journal of Industrial Engineering*, **11**, 19-28.
- Taksic, V. (1986), The Ergonomics of working postures: Comparison of some indices of postural load assessment, in Corlett, E. N., Wilson, J. and Manenica, I. (Eds), The ergonomics of working posture, Taylor & Francis, London, 278-282.
- van der Beek, A. J., van Gaalen, L. C. and Frigns-Dresen, M. H. W. (1992), Working postures and activities of lorry drivers: A reliability study of on site observation and recording on a pocket computer, *Applied Ergonomics*, **23**(5), 331-226.